

Treball de Fi de Grau

## **Grau en Enginyeria en Tecnologies industrials**

### **Anàlisi de Cicle de Vida aplicat a la fabricació de cervesa artesana. Anàlisi comparatiu de les tecnologies i sistemes energètics**

#### **MEMÒRIA**

**Autor:** Maria Martínez Martínez  
**Director:** Xavier Carod de Arriba  
**Convocatòria:** Juny 2019



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Actualment, la problemàtica mediambiental està agafant una dimensió global. Dia rere dia es sent a parlar del canvi climàtic, l'escassetat d'aigua, la pèrdua de biodiversitat, la sobreexplotació dels recursos naturals o la contaminació; aquest tipus de problemes frenen el desenvolupament sostenible i posen en risc al planeta i a la seva població.

Aquesta és una de les raons per les quals les empreses es veuen amb la obligació de crear espais dins els seus departaments o projectes que es dediquin únicament a realitzar tasques de gestió ambiental; tant a nivell del producte o servei que realitzen com al seu propi funcionament intern.

Per altra banda, la producció i consum de cervesa artesanal també està en augment. Per aquest motiu, és interessant estudiar el seu impacte ambiental tenint en compte que és un mercat que ara per ara està creixent i que això pot dur a la creació de noves empreses de cervesa artesanal i, conseqüentment, a la instal·lació de fàbriques dedicades a aquest tipus de producció.

Partint d'aquestes dues premisses es decideix basar aquest projecte en l'avaluació de l'impacte ambiental que pot generar una empresa en produir un lot de 4500l de cervesa artesanal. L'estudi dels efectes derivats d'aquesta producció s'analitzen en base a l'etapa d'ús del procés global. Aquest desenvolupa a partir de extrems d'un projecte dedicat al disseny d'una fàbrica d'aquestes característiques i l'ús del programa GaBi i la base de dades de la llicència estudiant.

Finalment i per a comprovar que a banda de la etapa d'ús, hi ha molts altres processos lligats a la producció de cervesa que poden tenir un gran impacte ambiental, s'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat per a tres escenaris que estan fora de l'abast de l'ACV principal.



# Sumari

<b>ÍNDEX DE FIGURES</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDEX DE TAULES</b>	<b>9</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>11</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>13</b>
1.1. Origen del projecte .....	13
1.2. Motivació .....	13
1.3. Requeriments previs .....	13
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>15</b>
2.1. Objectius del projecte.....	15
2.2. Abast del projecte .....	15
2.3. Limitacions del projecte.....	16
<b>3. ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA</b>	<b>17</b>
3.1. Introducció general de la metodologia .....	17
3.1.1. Metodologia .....	17
3.1.2. Objectiu i abast de l'estudi .....	18
3.1.3. Inventari .....	18
3.1.4. Anàlisi de l'impacte .....	19
3.1.5. Interpretació .....	22
3.2. Software GaBi .....	22
3.3. Tractament de l'aigua.....	24
3.3.1. Sistema osmosis.....	24
3.3.2. Tanc acumulador d'aigua calenta.....	24
3.4. Molta de malt.....	24
3.4.1. Transport i pesatge.....	25
3.4.2. Molta .....	25
3.5. Fabricació i cocció del most .....	25
3.5.1. Maceració .....	25
3.5.2. Rentat i filtrat.....	25
3.5.3. Cocció del most .....	26
3.5.4. Refredador de plaques .....	26
3.6. Fermentació .....	26
3.7. Sistema de neteja CIP .....	27

3.8. Sistema d'envasat .....	27
3.9. Generador de vapor .....	27
3.10. Sistema de reaprofitament .....	27
<b>4. ACV DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ DE CERVESA .....</b>	<b>29</b>
4.1. Objectiu i abast del projecte .....	29
4.1.1. Unitat funcional .....	29
4.1.2. Límits del sistema .....	29
4.1.3. Consideracions .....	30
4.2. Anàlisi de l'inventari .....	31
4.2.1. Balanços de matèria .....	32
4.2.2. Balanços d'energia .....	35
4.3. Anàlisi de l'impacte .....	38
4.4. Interpretació dels resultats.....	42
<b>5. ESTUDI DE SENSIBILITAT .....</b>	<b>45</b>
5.1. Escenari 1: Matèries primes i transport.....	45
5.2. Escenari 2: Envasat.....	48
5.3. Escenari 3: Subministrament elèctric .....	51
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>55</b>
<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>59</b>
Referències bibliogràfiques.....	59
Bibliografia complementària.....	59

## Índex de figures

Figura 1. Diagrama de les etapes de la metodologia ACV .....	18
Figura 2. Eco vector de massa/energia .....	19
Figura 3. Diagrama de balanç d'un sistema genèric.....	19
Figura 4. Resum de l'estructura ReCiPe.....	21
Figura 5. Diagrama de blocs del procés de fabricació de cervesa .....	23
Figura 6. Diagrama del sistema de reaprofitament.....	28
Figura 7. Diagrama de la recuperació d'energia i aigua .....	33
Figura 8. Diagrama de recuperació d'energia i aigua. ....	33
Figura 9. Diagrama de la modelització del AR feta amb el software GaBi .....	36
Figura 10. Diagrama de la modelització del SR feta amb el software GaBi .....	37
Figura 11. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Canvi Climàtic.....	38
Figura 12. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Acidificació Terrestre .....	39
Figura 13. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eutrofització aigua dolça.....	39
Figura 14. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament capa d'ozó .....	39
Figura 15. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de recursos fòssils.....	39
Figura 16. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Ecotoxicitat aigua dolça.....	40
Figura 17. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Toxicitat humana .....	40
Figura 18. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Radiació ionitzant .....	40
Figura 19. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eco toxicitat marina .....	40
Figura 20. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eutrofització marina.....	41
Figura 21. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de metalls .....	41

Figura 22. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Transformació del medi terrestre .....	41
Figura 23. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Formació de partícules .....	41
Figura 24. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Oxidació fotoquímica .....	42
Figura 25. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eco toxicitat terrestre .....	42
Figura 26. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de l'aigua .....	42
Figura 27. Recull de gràfics dels impactes segons la procedència del malt i el llúpol .....	46
Figura 28. Recull de gràfics dels impactes segons si s'inclou o no l'envasat de la cervesa	50
Figura 29. Exemple d'impacte de l'ús del vidre (de la llibreria de GaBi) pel model d'AR més envasat .....	50
Figura 30. Exemple d'impacte de l'ús d'acer inoxidable (de la llibreria de GaBi) pel model	51
Figura 31. Retall del model creat per a l'estudi del cas 4 .....	52
Figura 32. Recull de gràfics dels impactes segons si s'inclou o no l'envasat de la cervesa	53



## Índex de taules

Taula 1. Balanços de matèria dels processos comuns (amb i sense reaprofitament).....	33
Taula 2. Balanç de matèria sistemes d'aigua i vapor (amb reaprofitament).....	34
Taula 3 Balanç de matèria sistemes d'aigua i vapor (sense reaprofitament) .....	34
Taula 4. Balanços d'energia dels dos sistemes a analitzar.....	35
Taula 5. Combinacions de l'escenari 1 .....	45
Taula 6. Valor relatiu dels efectes de l'escenari 1 respecte l'AR .....	47
Taula 7. Combinacions de l'escenari 3 .....	51
Taula 8. Valor relatiu dels efectes de l'escenari 3 respecte l'AR .....	54



## Glossari

**ACV:** acrònim d'Anàlisi del Cicle de Vida, metodologia que estudia els aspectes ambientals i els impactes potencials al llarg del cicle de vida d'un producte, servei o activitat.

**ISO:** *International Standard Organization*

**CIP:** acrònim de *Clean In Place*, sistema de neteja utilitzat que mitjançant uns capçals ruixadors neteja automàticament els tancs utilitzats.

**ASA:** Anàlisi de Sensibilitat Ambiental

**LC:** acrònim de *Life Cycle*, cicle de vida en anglès

**AR:** acrònim de Amb Reaprofitament, s'usa per fer referència al procés global dotat de la instal·lació de recuperació d'energia i aigua

**SR:** acrònim de Sense Reaprofitament, s'usa per fer referència al procés global sense la instal·lació de recuperació d'energia i aigua

**PET:** acrònim de politereftalat d'etilè, és un tipus de plàstic termoplàstic



# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

Des de fa temps i des que cada vegada es fa més ressò de la problemàtica mediambiental, ja sigui el canvi climàtic, la contaminació, la pèrdua de biodiversitat o l'escassetat d'aigua, per exemple; m'ha despertat la curiositat i m'ha fet voler saber com aquests estan relacionats amb el nostre dia a dia, les ciutats on vivim, els productes que consumim, saber quines mesures existeixen per frenar aquests efectes o, bé, conèixer projectes relacionats que s'estan desenvolupant actualment

Durant el transcurs dels estudis de grau s'estudien un seguit de matèries que proporcionen coneixement de les tecnologies industrials, amb una visió multidisciplinària, la qual cosa obre tot un ventall de possibles assignatures en les quals aprofundir. I és per això que vaig pensar que seria una bona oportunitat buscar eines per treballar els meus interessos però enfocats al món de l'enginyeria.

Així, se'm va proposar treballar a partir del Projecte de Fi de Carrera d'en Jordi Roca que es basava en la realització del disseny d'una fàbrica de cervesa artesanal on una de les propostes de disseny era realitzar una instal·lació per a reaprofitar l'energia i l'aigua de la fàbrica. De manera que la idea de treballar en base a aquest projecte seria estudiar, a nivell mediambiental, quin impacte tenia aquest disseny. A més a més, a partir d'aquí sorgirien altres aspectes de la fàbrica i aquest procés a poder tractar i estudiar.

## 1.2. Motivació

El principal incentiu que em va dur a realitzar aquest projecte, a banda de voler fer ús del software GaBi i aprofundir en conceptes de medi ambient, va ser el fet d'estudiar el funcionament d'una fàbrica de cervesa artesanal. És un tema en el que hi pensava des de feia temps ja que volia provar de fer la meva pròpia cervesa.

## 1.3. Requeriments previs

Per a la realització d'un projecte d'aquest tipus és interessant tenir una noció d'enginyeria ambiental i, en concret, de la metodologia de l'anàlisi del cicle de vida. És una eina que s'utilitza cada vegada més i, per tant, hi ha molts recursos i informació referent a la metodologia i tota la teoria relacionada.

Cal destacar que aquesta metodologia s'usa per avaluar les càrregues ambientals associades a un producte, procés o activitat i per a determinar l'impacte de l'ús de recursos i de les emissions derivades. La finalitat és avaluar el sistema i dur a la pràctica estratègies de millora ambiental.

## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest treball serà realitzar un estudi sobre els impactes ambientals derivats del procés de producció de cervesa artesana en una micro-cerveseria. Es compararan diferents escenaris, com l'ús de sistemes de reaprofitament d'aigua, la procedència de l'energia utilitzada en el procés o la importació de matèries primeres de diferents proveïdors; per tal de valorar quins d'aquests escenaris contribueixen en major mesura a la reducció dels impactes ambientals.

Caldrà doncs, de manera específica:

- Descriure el procés de fabricació de cervesa i definir els límits del sistema
- Conèixer la metodologia d'ACV i aplicar-la a l'estudi mitjançant l'ús d'un software específic. L'estudi es realitzarà amb el programa GaBi i es farà ús de les bases de dades d'EcolInvent.
- Modelar els sistemes a estudiar
- Avaluar les alternatives per a diferents categories d'impacte ambiental

La finalitat de l'estudi és servir per a la presa de decisions real i trobar la millor solució al procés des d'una perspectiva ambiental i funcional.

### 2.2. Abast del projecte

Aquest projecte constarà dos blocs: l'estudi de la metodologia ACV i del procés de fabricació de cervesa artesanal i la modelització, avaluació i comparació de l'impacte ambiental dels sistemes a estudiar.

Cal aclarir que un anàlisi del cicle de vida complet pot arribar a ser molt extens, és per aquest motiu que s'ha acotat l'estudi a els processos que tenen lloc dins la fàbrica, així com l'extracció i procedència de les matèries primes i el seu transport, el consum i impacte de les xarxes de subministrament, l'impacte dels residus sòlids i líquids que resulten dels equips, l'ús de productes químics que poden entrar al sistema i l'impacte del procés envasat final. Per contra, no s'entrarà a estudiar el que la matèria prima de la que estan fabricats els equips pot generar a nivell ambiental, l'impacte el que hagués generat la pròpia construcció de la fàbrica ni el seu desmantellament.

Per a la realització de l'estudi s'ha partit del PFC d'en Jordi Roca per dibuixar l'escenari de reaprofitament d'aigua, així com per prendre moltes dades de referència a l'hora de definir els fluxos de matèria i energia en la modelització.

## **2.3. Limitacions del projecte**

Una de les principals limitacions serà que s'usarà la llicència de GaBi per a estudiants, aquest tipus de llicència tot i tenir una base de dades amb força processos, varietat de tipus de fluxos de matèria i energia, no en té prou com per a poder modelitzar la planta amb tots els processos que es duen a terme ni representar exactament el tipus de matèries primes que formen part del sistema. És per aquest motiu que caldrà crear processos i fluxos que representin els equips i amb les seves entrades i sortides. Per tant, s'hauran de fer suposicions i aproximacions per tal de poder modelar el sistema de la forma més real possible. Totes aquestes suposicions estan justificades en l'apartat 5.3.



## 3. Anàlisi del Cicle de Vida

### 3.1. Introducció general de la metodologia

L'anàlisi del cicle de vida, (LCA en nomenclatura anglesa), és una metodologia definida a la ISO 14040/44 que estudia els aspectes ambientals i els impactes potencials al llarg del cicle de vida d'un producte, servei o activitat.

El cicle de vida d'un producte considera tot el recorregut d'aquest, des del seu origen com a matèria prima fins al final com a residu. Es tenen en compte totes les fases intermèdies com la preparació de matèries primes, manufactura, transport, distribució, ús, etc.

En un ACV complet s'atribueixen als productes tots els efectes ambientals derivats del consum de les matèries primes i d'aquelles energies necessàries per a la seva elaboració, les emissions i residus generats en el procés de producció, així com els impactes ambientals que provenen del final de la vida del producte quan aquest es consumeix o no es pot utilitzar.

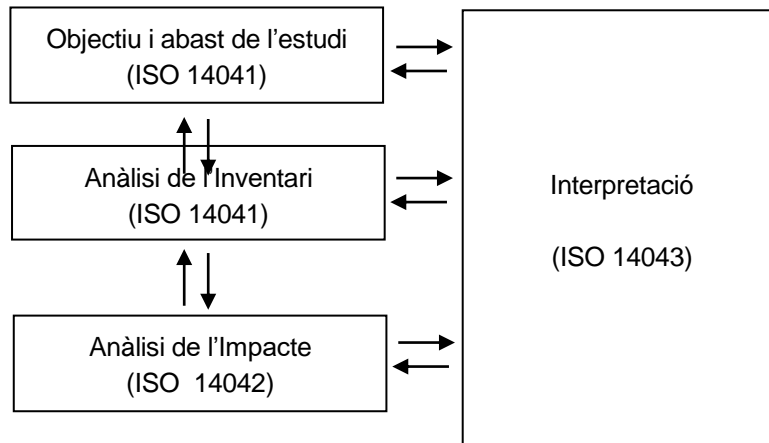
Aquesta metodologia es tracta, per tant, en un tipus de comptabilitat ambiental en la que s'imputen als productes i/o processos els efectes ambientalment adversos, degudament quantificats, generats al llarg del seu cicle de vida.

Però degut a la complexitat de l'Anàlisi del Cicle de Vida es requereix un protocol concret al que haurà d'ajustar-se tot estudi d'aquest tipus. És per això que s'ha establert a la normativa elaborada per l'"International Standards Organization (ISO)". Al 1994 dins aquesta, es va establir el comitè tècnic TC207 relacionat amb la normalització d'eines ambientals, així com l'ACV. Dins la normalització ISO caldrà diferència entre informes tècnics i normatives. A l'Annex A es troben les normatives relacionades amb l'ACV que s'han elaborat fins l'actualitat.

#### 3.1.1. Metodologia

D'acord amb la metodologia proposada per la normativa ISO 14040, un projecte d'ACV pot dividir-se en quatre fases: objectius i abast de l'estudi, anàlisi de l'inventari, anàlisi de l'impacte i la interpretació<sup>[1]</sup>.

Aquesta tècnica és iterativa i permet incrementar successivament el nivell de detall a cada iteració. Tal i com es pot comprovar a la *Figura 1* les quatre fases no són seqüencials.



*Figura 1. Diagrama de les etapes de la metodologia ACV*

### 3.1.2. Objectiu i abast de l'estudi

En aquesta primera fase es defineix el tema d'estudi i els motius que han dut a realitzar-lo. També s'estableix la unitat funcional, pas imprescindible ja que descriu la funció principal del sistema a analitzar, és a dir, es la base de càlcul a partir de la qual es realitzaran els balanços de matèria i energia. Un anàlisi del cicle de vida no serveix per a comparar productes entre sí, sinó serveis o quantitats de producte que duen a terme la mateixa funció.

Un ACV pot resultar ser molt extens per la seva naturalesa. És per aquest motiu que a l'hora de realitzar un estudi caldrà establir uns límits que quedin ben identificats per a tenir un sistema acotat. Aquests determinaran quins processos unitaris s'hauran d'incloure i hi haurà diversos factors que determinaran els límits, incloent l'aplicació prevista de l'estudi, les hipòtesis plantejades, els criteris d'exclusió i dades i limitacions econòmiques.

### 3.1.3. Inventari

Aquesta etapa es basa en l'obtenció de dades i la realització de procediments de càlcul per a poder identificar i quantificar tots els efectes ambientals adversos associats a la unitat funcional. S'anomenarà de forma genèrica càrrega ambiental a aquests efectes ambientals. La càrrega es defineix com la sortida o entrada de matèria o energia d'un sistema que causa un efecte ambiental negatiu, així també s'inclouen els efluents d'aigües, residus sòlids, les emissions de gasos contaminants, consum de recursos naturals, contaminació acústica, radiacions, olors, entre d'altres.

D'aquesta manera, quan es treballi amb sistemes que impliquin diversos productes, a l'inventari s'assignaran els fluxos de matèria i energia i les emissions al medi ambient que estan associats a aquests.

L'assignació de les càrregues ambientals a cadascun dels fluxos d'un procés i la realització del balanç corresponent es realitzarà mitjançant una metodologia basada en l'ús d'un vector que ha de contenir tota la informació sobre els tipus possibles de contaminació. A més a més, cada producte o procés durà associada la informació sobre la contaminació generada durant el cicle de vida<sup>1</sup>.

$$v_{\text{massa/energia}} = \begin{bmatrix} (kg) \text{ o } (kWh) \\ \text{Matèria prima} \\ \text{Residus sòlids} \\ \text{Abocaments líquids} \\ \text{Emissions} \\ \dots \end{bmatrix}$$

Figura 2. Eco vector de massa/energia

Aquests vectors de flux seran corrents que entraran i sortiran de cada subsistema. El balanç de cadascun dels elements cal que es tanqui de manera que la quantitat total de flux de matèria o energia que entri ha de ser igual al total de corrents de sortida del sistema, tal i com es mostra a la Figura 5.

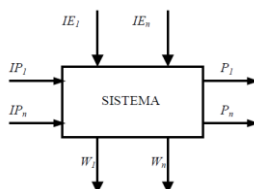


Figura 3. Diagrama de balanç d'un sistema genèric

On  $IE_i$  representarien les entrades energètiques,  $IP_i$  les entrades massiques,  $P_i$  els corrents de sortida (productes i subproductes) i  $W_i$  els residu

### 3.1.4. Anàlisi de l'impacte

Com ja s'ha vist a la Figura 1, aquesta fase ve determinada per la normativa ISO 14042, on es distingeix entre elements obligatoris i opcionals.

Els elements considerats obligatoris són els següents:

- Selecció de les categories d'impacte, indicadors de categoria i models
- Classificació. Tracta d'assignar les dades procedents de l'inventari a cada categoria d'impacte segons el tipus d'efecte ambiental esperat. Una categoria d'impacte es

---

<sup>1</sup> Cal recordar que això serà possible sempre i quan aquests processos i fluxos es puguin extreure directament de la base de dades de la llicència estudiant (que duen integrats als processos les emissions, radiació, etc.). Els altres caldrà crear-los, perdent aquest tipus d'informació associada

una es una classe que representa les conseqüències ambientals generades pels processos.

- Caracterització. Aquest punt es basarà en la modelització de les dades de l'inventari per a cada una de les categories i es realitza a partir dels factors de caracterització.

A cada categoria d'impacte ha d'estar representada de forma quantitativa amb el que s'anomena indicador de la categoria. Per exemple, la categoria d'impacte "canvi climàtic" es mesura en CO<sub>2</sub> equivalent i computa totes les emissions de gasos amb efecte hivernacle: CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.. Així, el sumatori de les diferents intervencions ambientals per a una mateixa categoria es farà a la unitat de l'indicador de la categoria.

Mitjançant els factors de caracterització (equivalents) les diferents intervencions ambientals, emissions de gasos, per exemple, es converteixen a unitats del indicador. Es necessari l'ús de models per a obtenir aquests factors de caracterització.

Com s'ha comentat a l'inici de l'apartat, existeixen un seguit d'elements opcionals que es poden utilitzar depenen de l'objectiu i l'abast de l'estudi d'ACV:

- Normalització. Relació de magnitud per a una categoria d'impacte respecte un valor de referència.
- Agrupació i classificació dels indicadors.
- Ponderació. Es basa en establir uns factors que adjudiquen una importància relativa a les diferents categories d'impacte per a sumar-les i poder obtenir un resultat ponderat en forma d'únic índex ambiental globals del sistema.
- Anàlisi de la qualitat de les dades. Ajuda a entendre la fiabilitat dels resultats de l'anàlisi de l'impacte del cicle de vida. Per a anàlisi comparatius serà obligatori.

Entre els diferents mètodes d'avaluació d'impactes hi ha una diferència important que es basa en l'opció d'analitzar l'efecte últim de l'impacte ambiental o els efectes intermedis.

Les categories d'impacte ambientals intermèdies es troben més a prop a la intervenció ambiental, la qual cosa permet, en general, models de càlculs que s'adapten millor a aquesta. A més a més, proporcionen una informació més detallada de quina manera i punt s'afecta al medi ambient. Les categories d'impacte finals són variables que afecten directament a la societat, per tant, triar-les resulta més rellevant a escala global. Tot així, la metodologia per a arribar a quantificar l'efecte últim no està totalment elaborada ni existeix prou consens científic, com es menciona en (Hertwich, 2002), es necessari per recomanar el seu ús. Per tots aquests motius, és més comú recórrer a categories d'impacte

intermèdies, estalviant-nos el procés de ponderació de les mateixes que n'indiqui el grau d'importància relativa.

Per a realitzar l'avaluació d'impacte ambiental es poden usar diferents metodologies, com per exemple: CML, Ecoindicador 99, ReCiPe, ILCD, USEtox, entre d'altres. Cada una d'aquestes incorpora diferents mecanismes i algorismes per a transformar les dades d'inventari en efectes mediambientals. A més a més, incorporen diferents categories d'impacte en l'anàlisi i pot haver-hi petites diferències en els resultats segons la metodologia utilitzada. A l'Annex B es pot trobar una taula on es mostren les categories d'impacte més comuns que es poden trobar en els diferents mètodes.

### Metodologia ReCiPe

D'entre les diferents metodologies que es poden fer servir per a realitzar una avaluació d'impacte ambiental, s'utilitzarà la ReCiPe, combinació entre la Ecoindicador 99 i la CML.

Les categories d'impacte amb les quals treballa aquest mètode són 18 indicadors *mid-point* i 3 indicadors *end-point*. Els indicadors *mid-point* (efectes intermedis) es centren en problemes ambientals com el canvi climàtic, l'acidificació, esgotament de la capa d'ozó, eutrofització de l'aigua, ecotoxicitat, formació de partícules, radiació, entre d'altres que es poden trobar a l'Annex C. I els indicadors *end-point* que mostren l'impacte ambiental en tres categories que fan referència als perjudicis a la salut humana, la diversitat dels ecosistemes i la disponibilitat de recursos.

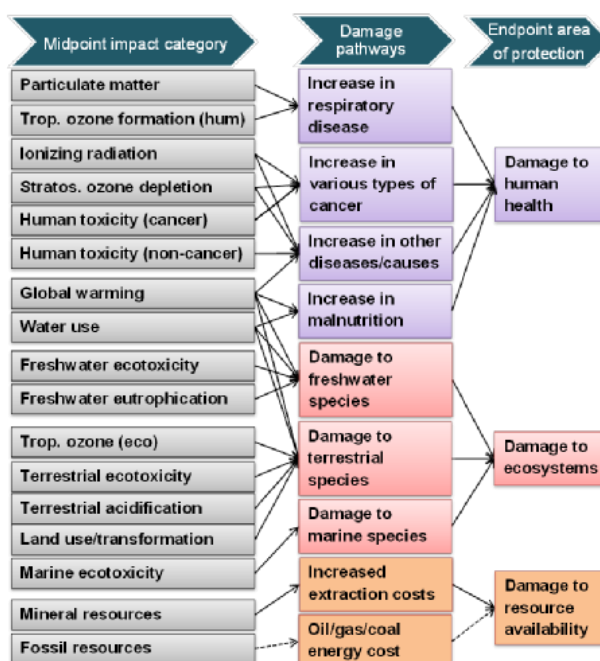


Figura 4. Resum de l'estructura ReCiPe

El fet de convertir els efectes intermedis (*mid-points*) als efectes últims (*end-points*) simplifica la interpretació dels resultats, a la *Figura 2* es mostra la relació entre categories d'impacte que es poden fer. Malgrat això, cada vegada que es realitza una agrupació, la incertesa dels resultats augmenta.

### 3.1.5. Interpretació

La interpretació és la fase d'un ACV en la qual es combinen els resultats d'anàlisi de l'inventari amb l'avaluació de l'impacte i els objectius plantejats. Tot i presentar els resultats al final de l'estudi, aquesta etapa es du a terme de forma paral·lela durant tot el projecte. Així s'analitzen i verifiquen constantment les dades de l'inventari, o es redefeixen els objectius i abast del projecte si és necessari.

Els resultats d'aquesta interpretació poden adquirir la forma de conclusions i recomanacions per a la presa de decisions. Permeten determinar en quina fase del cicle de vida del producte es generen les principals càrregues ambientals i, per tant, quins punts del sistema avaluat poden o haurien de millorar-se. En els casos de comparació de diferents productes es podrà determinar quin presenta un millor comportament ambiental, sempre i quan la unitat funcional i els límits de l'estudi siguin els mateixos.

## 3.2. Software GaBi

Per a la generació d'Anàlisis de Cicle de Vida existeix diversitat de software tant de distribució lliure com de comercials, com: *OpenLCA* (lliure), *SimaPro* (no gratuït) i *GaBi* (no gratuït). Com ja s'ha esmentat anteriorment, el programari que s'utilitzarà per aquest estudi serà el *GaBi* amb una llicència d'estudiant.

El Software *GaBi* és una eina desenvolupada per l'empresa *PE International* que conté tots els elements necessaris per modelar productes i sistemes des d'una perspectiva de cicle de vida. Els usuaris poden construir models per a qualsevol producte o procés, fer balanços d'entrades i sortides d'emissions, materials i energia, i crear informes interactius. El *GaBi* incorpora accés a bases de dades ambientals - sobre la fabricació de materials, producció i ús de combustibles i electricitat, transport de mercaderies, tractament de residus,...- que cobreixen una ampla gamma de necessitats de l'usuari.

La base de dades a partir de la qual es treballarà és la d'EcoInvent. Aquesta proporciona dades de procés ben documentades per a milers de productes i conté factors per a un conjunt específic de normalització i ponderació.

## Procés de fabricació de la cervesa

Conèixer en detall el procés de fabricació de la cervesa és fonamental per tal de poder estudiar el seu cicle de vida. A partir d'aquest es pot realitzar un balanç de massa i energia, calculant els consums dels equips que en formen part i la matèria que hi entra, circula o surt de cadascun d'ells.

A continuació, *Figura 3*, es mostra una croquis del diagrama de blocs del procés estudiat i una taula amb els equips involucrats.

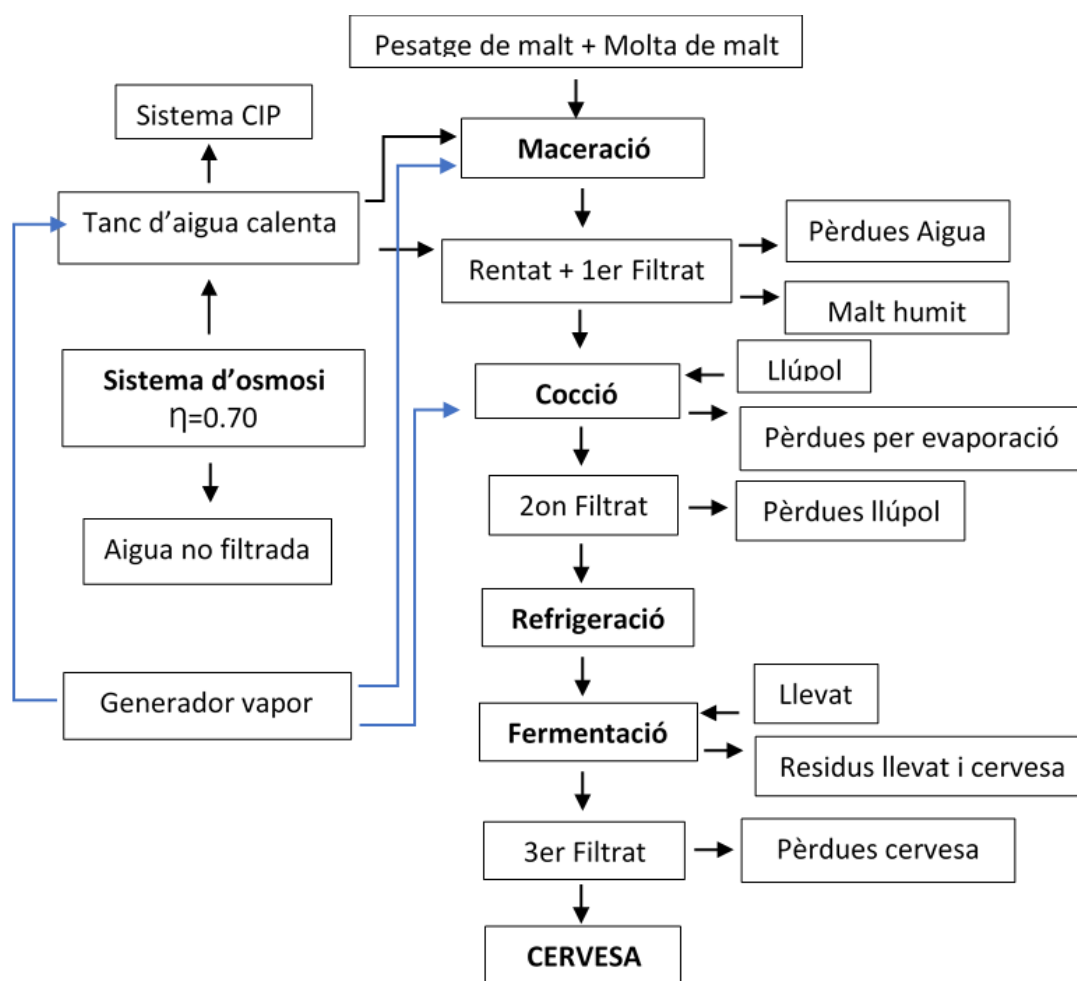


Figura 5. Diagrama de blocs del procés de fabricació de cervesa

En els següents apartats es tractaran les diferents parts i processos que participen dins el procés global de fabricació de cervesa però encarant a l'estudi de l'ACV i així entendre quina és la successió de les etapes i quina és la funció de cada equip.

### 3.3. Tractament de l'aigua

Realitzar un bon tractament de l'aigua per a l'elaboració de cervesa és important per a poder fabricar el màxim d'estils i aconseguir una alta qualitat. Això significa utilitzar el perfil d'aigua adequat a cada tipus de cervesa, amb els ions en el seu rang adient.

#### 3.3.1. Sistema osmosis

La base del funcionament d'un sistema d'osmosi és l'aplicació de pressió a l'aigua amb una alta concentració d'ions, fer-la passar a través d'un seguit de filtres o membranes que n'eliminin les partícules i ions, és a dir, el 99,6% de salts dissoltes, convertint-la en aigua osmotitzada. Cal tenir en compte que durant el funcionament de l'equip d'osmosis no s'aprofitarà tota l'aigua, només es filtrarà un 70% de l'aigua consumida de la xarxa.

#### 3.3.2. Tanc acumulador d'aigua calenta

Un dels imprescindibles en la fabricació de cervesa és disposar de gran quantitat d'aigua calenta i, per tant, un tanc acumulador d'aquesta. L'aigua entrarà al tanc després d'haver estat osmotitzada i es farà servir tant en el procés de maceració com en el procés de rentat al voltant dels 80°C. Malgrat no es tindrà en compte dins l'anàlisi del cicle de vida, una vegada l'aigua ha estat filtrada i és a al tanc d'emmagatzematge se'n modificarà manualment la concentració d'ions mitjançant l'addició de sals o àcids i ajust del pH, segons convingui.

El dipòsit seria d'acer inoxidable, amb les mateixes característiques que la resta d'equips. Aquest ha d'estar aïllat tèrmicament per a mantenir l'escalfor i disposar d'automatismes que regulin el sistema escalfador de l'aigua per a que només funcioni quan es requereixi.

I per últim, l'escalfament de l'aigua del tanc es realitzarà a partir d'un generador de vapor, ja que el tanc està dotat de conduccions interiors per hi circula aquest. Cal destacar que en el cas en que s'estudiarà el sistema global sense reaprofitament d'energia s'escalfaria tota que hagi de sortir del tanc, però en el cas en que es treballi amb reaprofitament d'energia s'utilitzarà també l'aigua que hagi estat escalfada mitjançant la recuperació de vapor del bullidor o l'aigua recuperada a l'intercanviador de plaques.

### 3.4. Molta de malt

L'element principal per a la fabricació de cervesa és el malt. A l'interior del seu gra s'hi troba el midó que serà degradat, durant la maceració, a sucres fermentables pels propis enzims que conté el gra. Aquests es transformaran pel llevat que els convertirà en alcohol i CO<sub>2</sub>.



Per al procés de maceració es vol que l'endosperma del malt quedi al descobert per a que els diferents enzims que aquest conté hi puguin actuar. Això s'aconsegueix molturant el gra i esmicolant la part interior, cal tenir en compte que la clofolla s'haurà de deixar intacte perquè serà útil durant el procés de filtració del most, ajuda a retenir les partícules fines.

### **3.4.1. Transport i pesatge**

El sistema de descàrrega, processament i transport de malt s'encarrega de pesar el malt que serà molturat, dosificar-lo i transportar-lo al molí i, una vegada molt, traslladar-lo al macerador. És un sistema senzill d'operació i manteniment però com a equip tindrà un impacte ambiental degut a l'energia que consumirà durant el temps que sigui utilitzat.

### **3.4.2. Molta**

D'entre els dos tipus de molins que es podrien usar per a la molta de malt, de rodets o de martells, s'ha triat utilitzar el molí de rodets ja que es tracta d'una fabrica petita/mitjana.

Un procés d'aquestes característiques està dissenyat per fabricar diferents tipus de cerveses, de manera que aquesta es pot fabricar amb malt base i malt especial segons el tipus que es vulgui produir. Aquest fet serà irrellevant dins l'estudi ja que la dada d'interès serà la quantitat total de matèria entrarà al sistema i s'està estudiant un cas estàndard, però cal saber que segons el tipus de recepta que es segueixi, pot variar la matèria primera, la temperatura en algun procés o temps el de fermentació i maduració, per exemple.

## **3.5. Fabricació i cocció del most**

### **3.5.1. Maceració**

El procés de maceració és el més important en la fabricació del most, aquesta etapa es basa en barrejar aigua provinent del tanc acumulador i el malt molt a una temperatura i temps determinat, en aquest cas al voltant d'uns 65°C i 60-90 minuts.

En quant al sistema calefactor d'aquest, entre la paret interna i l'aïllament, el tanc disposarà d'un sistema de camises de vapor, dividit en dos circuits independents. Per al procés de maceració se'n farà servir només un, alimentat pel generador de vapor comú al tanc acumulador d'aigua, procés de maceració i cocció.

### **3.5.2. Rentat i filtrat**

Aquesta part del procés es duu a terme una vegada ha acabat el macerat, en el següent recipient de la sala de cocció. La mescla es compon per una part aquosa amb substàncies

dissoltes (el most) i una altra per substàncies no dissoltes que caldrà filtrar i retirar.

Per a aquesta primera filtració de la mescla que ha sortit del macerador caldrà aigua entre 75°C i 80°C. El procés es divideix en dues parts on primer es buidaria la major part de la solució aquosa i es deixaria només la part no dissolta (descàrrega de primer most) i seguidament es rentaria la part sòlida per extreure el màxim d'extracte i millorar el rendiment. D'aquí en sortiria most per coure, aigua residual i malt humit (residu sòlid).

### **3.5.3. Cocció del most**

Una vegada el most ja ha estat filtrat, es bombeja el most cap al ebullidor on es realitzarà la seva cocció juntament amb el llúpol. Aquest procés pot arribar a representar un 40% de la demanda energètica i, per això, quan es realitza el disseny d'una planta d'aquest tipus cal trobar una relació adequada entre les concentracions de most inicial, final i temps d'ebullició per minimitzar-la. Per realitzar l'ebullició caldrà escalfar el most des de la temperatura que té al macerador fins a 100°C a partir dels dos circuits de vapor dels que disposa. El tanc de cocció disposarà d'una sortida de vapors, per a poder instal·lar-hi un condensador de vapors per a recuperar calor.

### **3.5.4. Refredador de plaques**

La refrigeració és el pas previ a la fermentació ja que per a que el llevat es desenvolupi de forma correcta cal que el most hagi estat refredat. Així, just després de l'ebullició, es situa un intercanviador tèrmic de plaques. Aquest consisteix en una gran quantitat de plaques metàl·liques fines posades de forma paral·lela, a través de les quals hi circula most i aigua de refrigeració en sentits oposats. Per un costat de la placa hi circula aigua i per l'altre most, que cedirà calor a l'aigua i, a més a més, es refredarà mentre que l'aigua absorbirà la calor i augmentarà de temperatura.

En condicions normals, l'aigua freda que circularia pel refredador de plaques vindria d'un tanc d'aigua freda dotat d'un sistema format per una unitat de compressors que refrigerarien l'acumulador d'aigua i el mantindrien a una temperatura constant.

## **3.6. Fermentació**

Durant aquest procés el most es transforma en cervesa gràcies a l'acció del llevat. El transcurs d'aquest dura entre 1 i 2 setmanes. El most que del refrigerador a la temperatura de fermentació entra al fermentador, per a ser oxigenat intensivament, juntament amb el llevat. Finalment, de la fermentació se n'extreu cervesa que serà bombejada cap a l'última filtració prèvia a l'envasat.

### 3.7. Sistema de neteja CIP

Aquest sistema realitza la neteja de gran part dels equips automàticament a través de les entrades del sistema CIP que hauran estat instal·lades a cada tanc. Els tancs de neteja es proveiran d'aigua calenta (80°C) del tanc acumulador i hidròxid de sodi (NaOH) i àcid acètic ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) com a agents desinfectants<sup>[2]</sup>.

La neteja es farà en tres etapes. Per començar es farà circular aigua de la xarxa per arrossegat totes les partícules sòlides de mida gran que hagin pogut quedar als tancs. Seguidament, es realitzen dos banys: el primer amb la solució alcalina i un esbandit i el segon de la solució àcida que contrarestarà algun possible rastre de la solució alcalina i, a més a més, s'utilitzarà com agent desinfectant. I, finalment, s'aclarirà el tanc amb aigua neta.

El sistema està pensat per a realitzar la neteja dels tancs de maceració/bullidor, els de filtratge i els fermentadors, la qual cosa no és rellevant ja que l'objecte d'estudi és l'impacte del procés en general. Dels equips sortirà aigua amb químics que caldrà tractar i aigua residual que no serà reaprofitada.

### 3.8. Sistema d'envasat

Una vegada el lot de cervesa hagi estat fermentat i filtrat, caldrà passar al sistema d'envasat. S'envasará en ampolles vidre de 33cl i barrils d'acer inoxidable de 30l.

### 3.9. Generador de vapor

El sistema de generació de calor es basarà en una caldera de vapor que generarà tota l'energia tèrmica de la planta de fabricació necessària per a l'escalfament o ebullició del most i per al tanc d'aigua calenta.

El generador de vapor estarà unit als de maceració i cocció mitjançant circuits independents i tancats. D'aquesta manera serà possible l'escalfament de cada tanc per separat i es podrà facilitar el retorn dels condensats, líquid que serà utilitzat per a la generació de vapor. I s'usarà com a combustible el gas natural.

### 3.10. Sistema de reaprofitament

Tenint en compte que per a la fabricació de cervesa cal una gran quantitat d'aigua tant per

a l'elaboració en sí del producte com per als processos i també es fa un gran consum d'energia, es proposa un sistema per a poder reaprofitar ambdues.

Aquest sistema de reaprofitament inclou, principalment, els equips de cocció i refrigeració i el tanc acumulador d'aigua calenta. En conseqüència, el sistema d'osmosi, els sistema CIP i un tanc d'aigua freda. I el producte que es voldrà aprofitar seran les pèrdues de vapor de la cocció tant el seu volum com la seva energia tèrmica i l'aigua calenta que surt del refredador de plaques una vegada ha escalfat el most.

Per una banda, es crea un sistema de recuperació d'energia a la sortida de la cocció per aprofitar l'energia del vapor d'aigua produït. Aquest consisteix en la condensació del vapor d'aigua generat. Es situarà un intercanviador de tubs a la xemeneia del tanc a través del qual el vapor cedeix l'energia tèrmica a l'aigua que circularà a contracorrent, provinent del sistema d'osmosi. D'aquesta manera, l'aigua s'escalfarà i, com estarà osmotitzada, es podrà recircular cap al tanc acumulador. Per altra banda, el vapor condensat no pot ser utilitzat per tornar a elaborar cervesa, ja que conté substàncies no desitjades, es farà servir per al sistema CIP.

En quant a l'intercanviador de plaques, se'n tria un de dues etapes per a minimitzar el consum d'aigua de refrigeració. La primera etapa funcionarà amb aigua osmotitzada a temperatura ambient que farà baixar la temperatura del most a 30°C, aproximadament. I la segona etapa utilitzarà un cabal regulable d'aigua de refrigeració fins que el most de sortida es trobi a la temperatura de fermentació. Tota l'aigua calenta que es generi durant el procés serà aprofitada per a la neteja dels equips o per la fabricació del següent lot de cervesa.

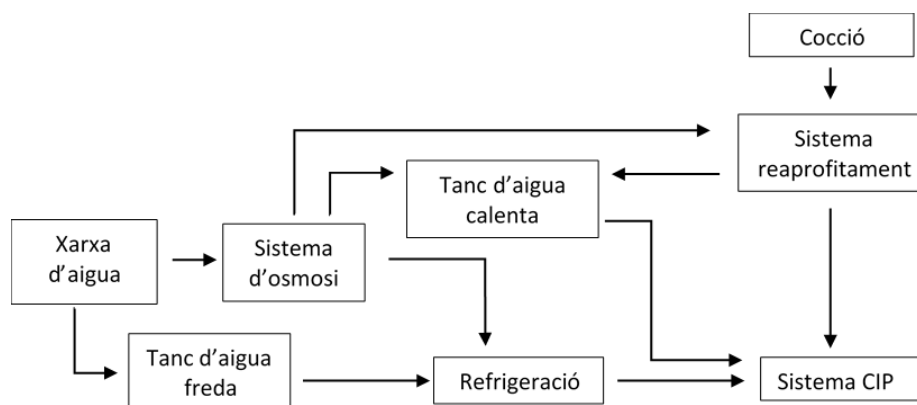


Figura 6. Diagrama del sistema de reaprofitament

## **4. ACV del procés de fabricació de cervesa**

### **4.1. Objectiu i abast del projecte**

Durant el transcurs de la memòria, s'ha determinat l'objectiu general d'estudi. Ara bé, per a realitzar l'anàlisi, seguint la metodologia ACV, cal definir-lo clarament, així com l'abast.

L'objectiu d'aquest ACV és avaluar l'efectivitat de la instal·lació d'un sistema de reaprofitament d'aigua i energia dins el procés de fabricació de cervesa artesana. Quan es parla d'efectivitat, es vol comprovar si realment aquest canvi es veu reflectit en quant a impacte ambiental, ja sigui en consum d'energia, recursos, emissions, etc.

Per dur-ho a terme, es realitzarà un anàlisi comparatiu entre el procés de fabricació de cervesa amb reaprofitament d'aigua i energia i sense reaprofitament. Els equips i matèries primes que en formin part seran els mateixos, però la modelització del sistema, diferent.

#### **4.1.1. Unitat funcional**

Tal i com es comenta a l'apartat 3.1.2, la unitat funcional d'un ACV defineix la quantificació de les funcions del producte, per això serà molt important escollir-ne una adequada.

Una planta de fabricació de cervesa com la que s'estudia té capacitat per a produir un total de 9000l al dia durant cinc dies a la setmana, de dilluns a divendres. Però per aquest estudi es prendrà com a unitat funcional el valor d'un únic lot de cervesa que és de 4500l.

#### **4.1.2. Límits del sistema**

Aquest aspecte és molt important ja que si no es definissin els límits del sistema, l'ACV seria inabastable per la seva naturalesa. Per tant, s'identificarà el conjunt de processos unitaris o subsistemes que permetrà produir el producte d'estudi, un lot de cervesa artesanal.

L'estudi es centrarà en l'etapa d'ús d'una fàbrica de cervesa. És a dir, es treballarà sobre el propi procés de fabricació, amb els fluxos corresponents a entrades i sortides de matèria i els consums d'energia dels equips.

A l'estudi no es consideraran els següents aspectes:

- Procés d'envasat de la cervesa
- Manufactura i transport dels envasos

- Procedència de les matèries primes del procés
- Extracció de materials dels equips i la seva fabricació
- Construcció, manteniment o desmantellament de la fàbrica

#### 4.1.3. Consideracions

Per a dur a terme l'ACV de l'etapa d'ús d'una fàbrica de cervesa artesana d'aquestes característiques s'ha realitzat un estudi del funcionament, instal·lacions i processos del PFC esmentat anteriorment.

Malgrat la gran majoria de dades estan encarades a la fabricació de lots de cervesa de 50hl, aproximadament; el disseny global està pensat per a produir dos lots com aquests al dia i de forma contínua. És per això que per a poder realitzar l'estudi d'un únic lot de 4500l serà necessari fer certes consideracions i assumpcions.

Per al balanç de massa caldrà tractar tota la matèria en quilograms. En el cas de la cervesa, en unitats de massa, se li assigna un valor de densitat de 1070g/l de manera que el valor final del lot passa a ser de 4500l a 4815kg; aquesta densitat representa la quantitat de sucres dissolts que conté. I per al llevat es considerarà un densitat de 1040g/l<sup>[3]</sup>.

Ara bé, per al balanç d'energia es realitzaran els càlculs a partir de la taula de consum mensual energia elèctrica de la fàbrica de l'Annex D adaptats a la unitat funcional d'estudi i, en el cas de l'energia tèrmica, es calcularan els consums d'aquesta a partir de les equacions de calor pròpies de la termodinàmica.

Per als consums d'energia elèctrica, cal saber que quan es parla de consum mensual es calcula que la fàbrica està en funcionament de dilluns a divendres durant 21 dies laborables al mes, produint dos lots de 4500l al dia. Per tant, com que una de les columnes de la taula de l'Annex D mostra el consum diari (per dos lots), quan s'utilitzi alguna dada d'aquesta, es dividirà per dos el temps de funcionament.

A partir d'aquí, es detalla què s'ha considerat en cada procés en quant a energia elèctrica:

- Molta de malt:  $P = 15\text{kW}$  i  $t = 0,13\text{h}$ .
- Pesatge + transport / Transport al macerador:  $P = 1\text{kW}$  i  $t = 0,065\text{h}$  cadascun. En realitat és un sol equip, però es tracta com a dos independents perquè s'usa abans i després de la molta de malt.
- Maceració / Cocció / Filtrats: Formen part d'una sola sala de cocció de  $P = 7,75\text{kW}$ , però tenint en compte el temps d'ús de cadascun dels processos, s'assumeix que estan en ús un 22%, 23% i 55% del temps total, respectivament. es realitzen 3

filtrats i cadascun tindrà un percentatge d'us corresponent al temps que treballen.

- Refrigeració amb reaprofitament: Es calcula la potència en relació al consum de la unitat de compressors que refrigeren l'acumulador d'aigua "freda". Aquest consum per al cas amb reaprofitament estarà calculat en base al refredament dels 2600l d'aigua de la segona etapa de refrigeració, de 25°C a -4°C.
- Refrigeració sense reaprofitament: El funcionament seria similar a l'anterior, però en aquest cas només es realitzarà la refrigeració en una etapa. Es calcularia l'energia necessària per refredar el most de 95°C a 10°C amb 8100l d'aigua.
- Fermentació: Es parteix de que la calor generada durant aquesta és de 4700kJ/hl. Per tant, serà la proporcional al lot de 45hl i per trobar l'energia es té en compte la duració de la fermentació que s'assumiran 10 dies (fermentació + maduració).
- Sistema CIP:  $P = 2,2\text{kW}$  i  $t = 0,78\text{s}$ .
- Sistema d'osmosi amb reaprofitament:  $P = 4,4\text{kW}$  i  $t = 0,975\text{h}$ .
- Sistema d'osmosi sense reaprofitament:  $P = 4,4\text{kW}$  i  $t = 1,34\text{h}$  (temps proporcional a la quantitat d'aigua de més que ha d'osmotitzar).
- Generador de vapor:  $P = 2\text{kW}$  i  $t = 2,34\text{h}$ .
- Bombes centrífugues:  $P = 4\text{kW}$  i  $t = 0,195\text{h}$  (suposant que totes tres fan el transvasament en el mateix temps).

En quant als processos que requereixen energia tèrmica, tant la maceració com la cocció consumiran el mateix, ja que són sistemes que no els varia la quantitat de massa que han d'escalfar. En el cas del tanc d'aigua, sí que dependrà de la quantitat d'aigua a escalfar, ja que varia segons els sistema.

## 4.2. Anàlisi de l'inventari

En aquest apartat es procedeix a realitzar els càlculs per als balanços de matèria i energia del procés global. Per a fer-los es partirà de gran part de les dades del PFC que s'ha esmentat anteriorment fent les assumpcions necessàries i els càlculs adients per a aquest projecte en concret.

De cara a la modelització en GaBi, caldrà diferenciar els fluxos segons siguin elementals, o no. Els primers seran aquells que entren al sistema directament des de la naturalesa (recursos) i tots aquells que surtin directament a aquesta mateixa (emissions, residus i

abocaments), mentre que els no elementals seran els que romandran al sistema i no entraran o sortiran des de o cap a la naturalesa.

Com que aquest ACV és comparatiu, caldrà fer dos balanços de matèria i dos d'energia, ja que es treballarà amb el sistema amb reaprofitament i sense. Malgrat això, hi haurà molts punts dins el procés on no intervindrà el reaprofitament d'energia i aigua i, per tant, hi haurà valors que seran comuns.

En properes taules corresponents als balanços de matèria, es marcarà amb una "X" les corrents de sortida que hagin d'anar de sistema a sistema i amb un "\*" les que siguin fluxos residuals (es farà una columna "T", *tracked*, tal i com es marca al software al crear processos).

Els càlcul de cada cas es poden trobar a l'Annex E.

#### 4.2.1. Balanços de matèria

D'aquesta manera, es decideix crear un primer balanç de matèria on es mostrin els processos on les entrades i sortides en quant a tipus de flux i quantitat no variïn. Per fer-ho entenedor, s'enumeraran tal i com està explicat procés de fabricació a l'apartat 4.

Balanç de matèria amb reaprofitament / sense reaprofitament					
PROCÉS	ENTRADES	kg	SORTIDES	kg	T
Pesatge i Transport	Malt	1300	Malt	1300	X
Molta de malt	Malt	1300	Malt	1300	X
Trans. al Macerador	Malt	1300	Malt	1300	X
Maceració	Malt	1300	Most	5800	X
	Aigua del tanc	4500			
Bomba centrífuga 1	Most	5800	Most	5800	X
1er Filtrat i Rentat	Most	5800	Most	5400	X
	Aigua del tanc	2300	Aigua residual	2190	*
			Residu sòlid (malt)	510	*
Coccio	Most	5400	Most	4918	X
	Llúpol	18	Vapor	500	X/*
Bomba centrífuga 2	Most	4918	Most	4918	X
2on Filtrat	Most	4918	Most	4818	X
			Residus de llúpol	100	*
Refrigeració	Most	4818	Most	4818	X



	Aigua	8100	Aigua	8100	X/*
<b>Fermentació</b>	Most	4818	Cervesa	4922	X
	Llevat	514	Residus sòlids	420	*
<b>Bomba centrífuga 3</b>	Cervesa	4922	Cervesa	4922	X
<b>3er Filtrat</b>	Cervesa	4922	Cervesa	4815	X

Taula 1. Balanços de matèria dels processos comuns (amb i sense reaprofitament)

Tal i com es pot observar a la *Taula 1*, existeix una petita diferència en la sortida del flux de vapor del procés de cocció i de l'aigua en el de refrigeració. Això significa que, malgrat en tots dos casos les sortides seran les mateixes, la direcció d'aquestes variarà.

El procés global seguirà l'esquema de la *Figura 5* de l'apartat 4.1 amb les modelitzacions pertinents segons es treballi el sistema amb reaprofitament d'energia i aigua, *Figura 7*, o el sistema sense reaprofitament d'energia i aigua, *Figura 8*.

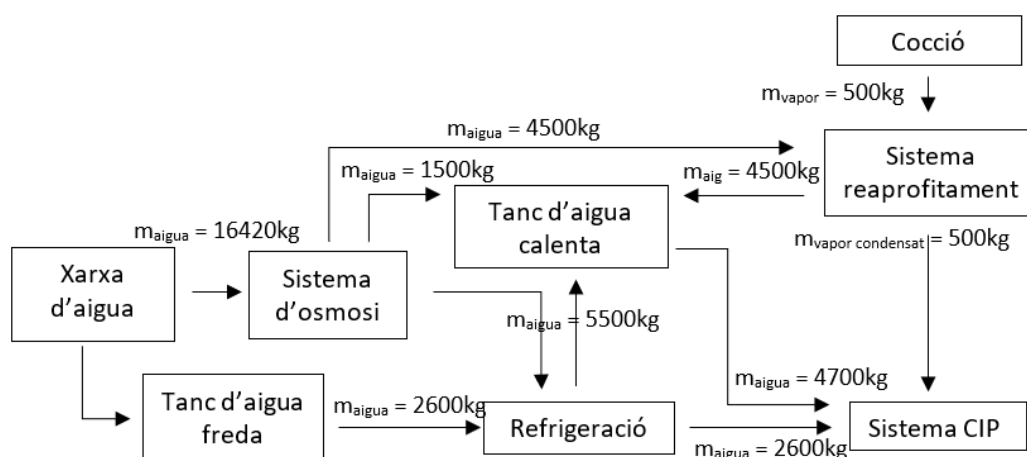


Figura 7. Diagrama de la recuperació d'energia i aigua

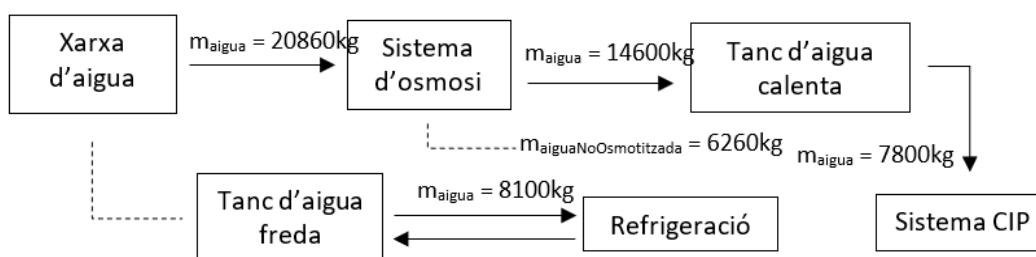


Figura 8. Diagrama de recuperació d'energia i aigua.

El funcionament vist a les anteriors figures s'expliquen a l'apartat 4.1.8 i durant el 4.2.

I balanç final de massa dels processos restants a la *Taula 1* són els següents:

Balanç de matèria amb reaprofitament					
PROCÉS	ENTRADES	kg	SORTIDES	kg	T
Tanc aigua calenta	Aigua sist. reaprofit	4500	Aigua Macerador	4500	X
	Aigua del Refrig.	5500	Aigua 1er Filtrat	2300	X
	Aigua osmotitzada	1500	Aigua sist. CIP	4700	X
Sistema osmosi	Aigua de la xarxa	16430	Aigua pel tanc	1500	X
			Aigua sist. reaprofit	4500	X
			Aigua 1a et. refrigeració	5500	X
			Aigua no osmotitzada	4930	*
Tanc d'aigua freda	Aigua de la xarxa	2600	Aigua 2a et. refrigeració	2600	X
Sistema CIP	Aigua del tanc calent	4700	Aigua per tractar	1500	*
	Aigua 2a et. refriger	2600	Aigua residual	5800	*
	Aigua vapor condens	500			
	Hidròxid de sodi	7,5			
	Àcid acètic	7,5			
Refrigeració	Aigua osmotitzada	5500	Aigua pel tanc	5500	X
	Aigua tanc fred	2600	Aigua pel sistema CIP	2600	

*Taula 2. Balanç de matèria sistemes d'aigua i vapor (amb reaprofitament)*

Balanç de matèria sense reaprofitament					
PROCÉS	ENTRADES	kg	SORTIDES	kg	T
Tanc aigua calenta	Aigua osmotitzada	14600	Aigua Macerador	4500	X
			Aigua 1er Filtrat	2300	X
			Aigua sist. CIP	7800	X
Sistema osmosi	Aigua de la xarxa	20860	Aigua pel tanc	14600	X
			Aigua no osmotitzada	6260	*
Tanc d'aigua freda (sistema tancat)	Aigua retorn refriger.	8100	Aigua per refrigeració	8100	X
Sistema CIP	Aigua del tanc calent	7800	Aigua per tractar	1515	*
	Hidròxid de sodi	7,5	Aigua residual	5800	*
	Àcid acètic	7,5			

*Taula 3 Balanç de matèria sistemes d'aigua i vapor (sense reaprofitament)*

#### 4.2.2. Balanços d'energia

De la mateixa manera que en el balanç de matèria els valors dels fluxos corresponents als processos que podien formar part del sistema de reaprofitament d'energia i aigua, eren diferents segons s'estudiés el procés global amb reaprofitament o sense, en el balanç d'energia passa exactament el mateix.

Balanç d'energia sist. amb reaprofitament			Balanç d'energia sist. sense reaprofitament		
PROCÉS / EQUIP	ENTRADES	kWh	PROCÉS / EQUIP	ENTRADES	kWh
Pesatge i Transport	E. Elèctrica	0,065	Pesatge i Transport	E. Elèctrica	0,065
Molta de malt	E. Elèctrica	1,950	Molta de malt	E. Elèctrica	1,950
Trans. al Macerador	E. Elèctrica	0,065	Trans. al Macerador	E. Elèctrica	0,065
Maceració	E. Elèctrica	0,734	Maceració	E. Elèctrica	0,734
	E. Tèrmica	304,500		E. Tèrmica	304,500
Bomba Cent. 1	E. Elèctrica	0,078	Bomba Cent. 1	E. Elèctrica	0,078
1er Filtrat i Rentat	E. Elèctrica	0,610	1er Filtrat i Rentat	E. Elèctrica	0,610
Coccio	E. Elèctrica	0,798	Coccio	E. Elèctrica	0,798
	E. Tèrmica	470,130		E. Tèrmica	470,130
Bomba Cent. 2	E. Elèctrica	0,780	Bomba Cent. 2	E. Elèctrica	0,780
2on Filtrat	E. Elèctrica	0,305	2on Filtrat	E. Elèctrica	0,305
Refrigeració	E. Elèctrica	<b>96,30</b>	Refrigeració	E. Elèctrica	<b>419,57</b>
Fermentació	E. Elèctrica	111,250	Fermentació	E. Elèctrica	111,250
Bomba Cent. 3	E. Elèctrica	0,780	Bomba Cent. 3	E. Elèctrica	0,780
3er Filtrat	E. Elèctrica	0,411	3er Filtrat	E. Elèctrica	0,411
Sistema CIP	E. Elèctrica	1,716	Sistema CIP	E. Elèctrica	1,716
Sistema osmosi	E. Elèctrica	<b>4,290</b>	Sistema osmosi	E. Elèctrica	<b>8,580</b>
Generador de vapor	E. Elèctrica	<b>0,130</b>	Generador de vapor	E. Elèctrica	<b>0,200</b>
Tanc aigua calenta	E. Tèrmica	<b>105</b>	Tanc aigua calenta	E. Tèrmica	<b>1022</b>
PROCÉS / EQUIP	SORTIDES	kWh	PROCÉS / EQUIP	SORTIDES	kWh
Generador vapor	E. Tèrmica	<b>879,63</b>	Generador vapor	E. Tèrmica	<b>1796,63</b>
Xarxa Elèctrica	E. Elèctrica	<b>220,262</b>	Xarxa Elèctrica	E. Elèctrica	<b>547,892</b>

Taula 4. Balanços d'energia dels dos sistemes a analitzar

Els valors en negreta que s'observen a la taula són aquells en què al formar part, o no, del sistema de reaprofitament varia la quantitat de matèria que es tracta i, conseqüentment, el temps d'us de l'equip. Per això, a l'hora de calcular els consums d'energia d'alguns processos s'hi trobaran diferències.

### LC Amb Reaprofitament

Diagrama proceso GaBi Mass [kg]  
Se muestran los nombres de los procesos básicos.

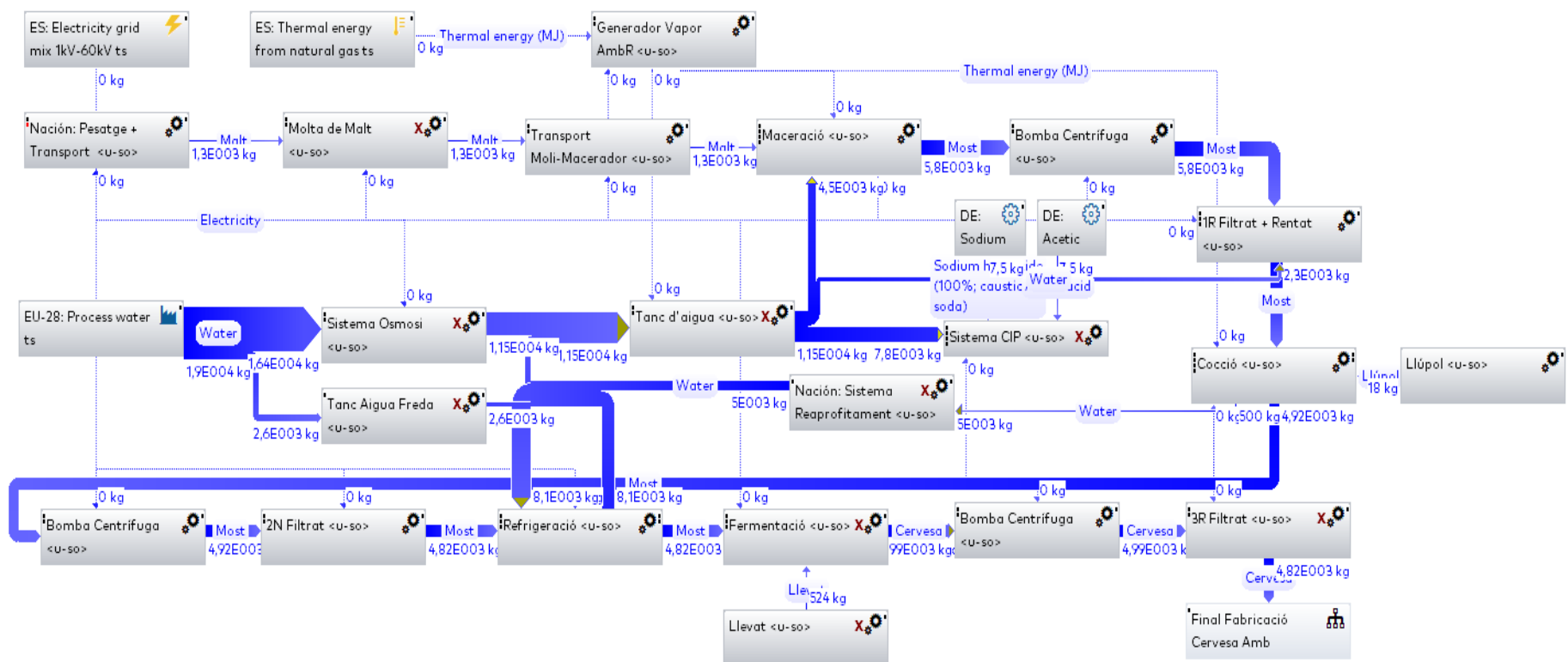


Figura 9. Diagrama de la modelització del AR feta amb el software GaBi

Diagrama proceso GaBi: Mass [kg]  
Se muestran los nombres de los procesos básicos.

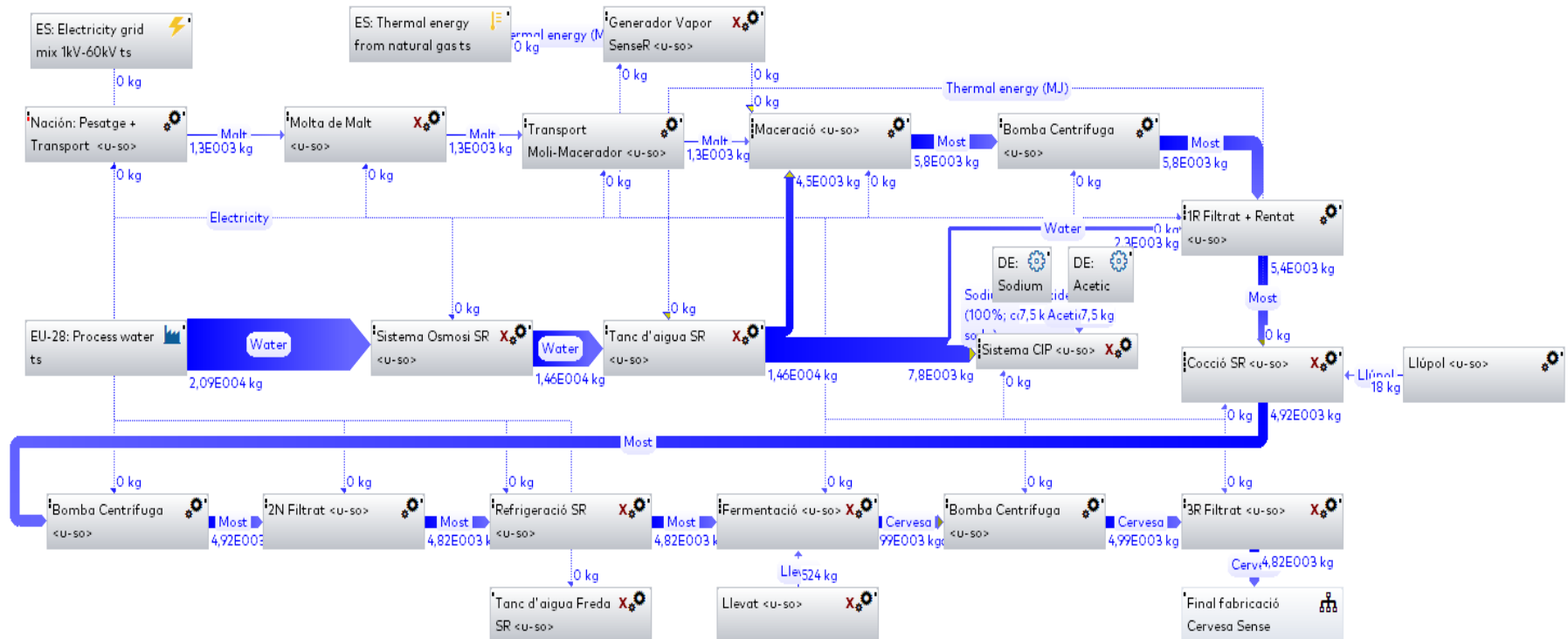


Figura 10. Diagrama de la modelització del SR feta amb el software GaBi

### 4.3. Anàlisi de l'impacte

La finalitat de la fase d'anàlisi d'impacte serà la d'interpretar l'inventari, analitzant i avaluant els impactes produïts per cadascuna de les càrregues ambientals identificades.

Per a aquesta avaluació es presentaran els resultats en l'enfoc de les categories intermèdies per als dos sistemes a estudiar (a l'esquerra els resultats corresponents al sistema amb reaprofitament i a la dreta, els del sistema sense reaprofitament).

Les sis columnes que apareixen a les taules mostraran els efectes associats al consum d'energia elèctrica (ES: Electricity grid), consum d'energia tèrmica (ES: Thermal energy), consum d'aigua de la xarxa (EU28: Process), els efectes deguts a l'addició de químics per al sistema de neteja (DE: Acetic acid i DE: Sodium Hydroxide) i el total.

Un dels punts que no s'ha pogut tenir en compte és l'impacte de ambiental del malt, és a dir, el seu conreu, extracció i tractament; ja que la base de dades de la llicència del software no conté totes les dades necessàries per a estudiar-ho.

Les categories d'impacte seleccionades per a realitzar l'ACV són les següents: canvi climàtic, acidificació terrestre, eutrofització de l'aigua dolça, esgotament de la capa d'ozó, esgotament de recursos fòssils, ecotoxicitat d'aigua dolça, toxicitat humana, radiació ionitzant, ecotoxicitat marina, eutrofització marina, esgotament de metalls, transformació del medi terrestre, formació de partícules, oxidació fotoquímica, ecotoxicitat terrestre i l'esgotament d'aigua. A l'Annex F es poden trobar les definicions de cada categoria d'impacte.

A continuació, es mostren tot els resultats obtinguts, extrets del software una vegada ja s'ha modelitzat el sistema segons l'inventari.

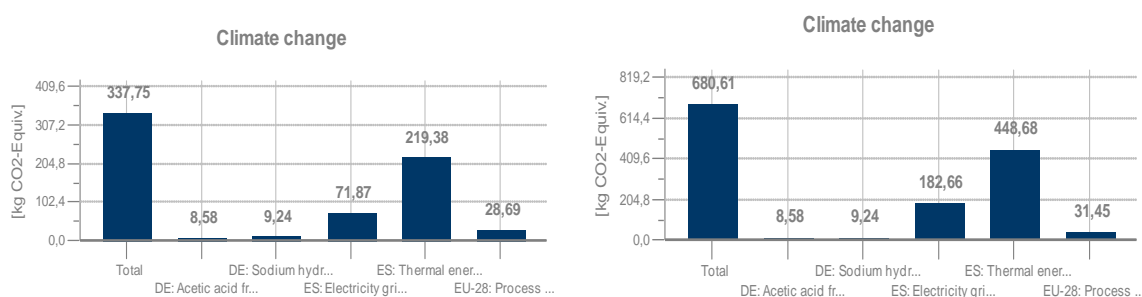


Figura 11. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Canvi Climàtic

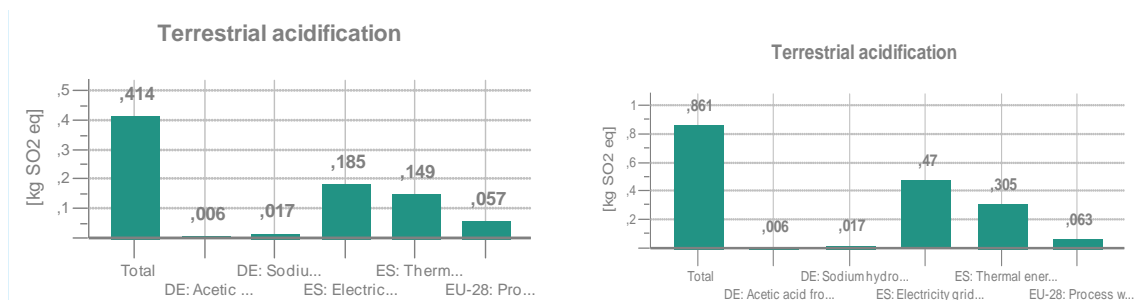


Figura 12. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Acidificació Terrestre

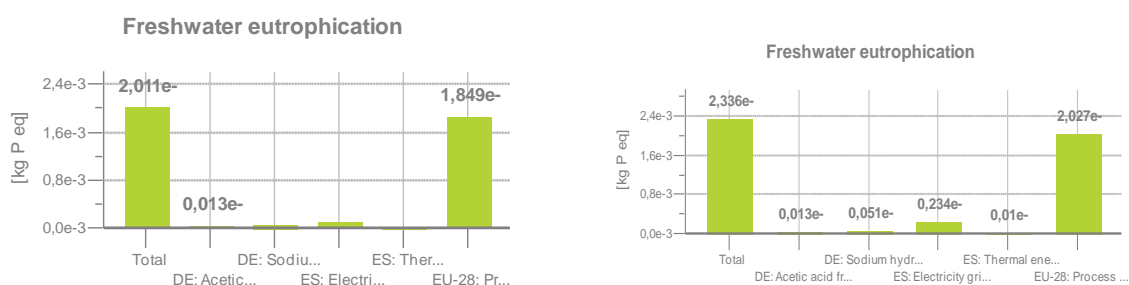


Figura 13. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eutrofització aigua dolça

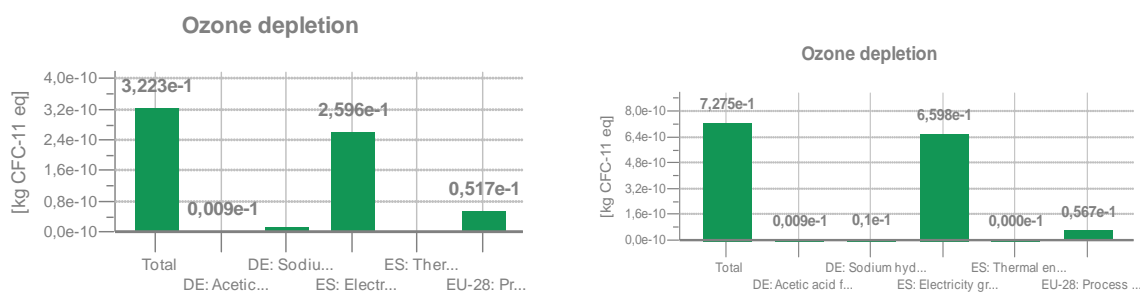


Figura 14. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament capa d'ozó

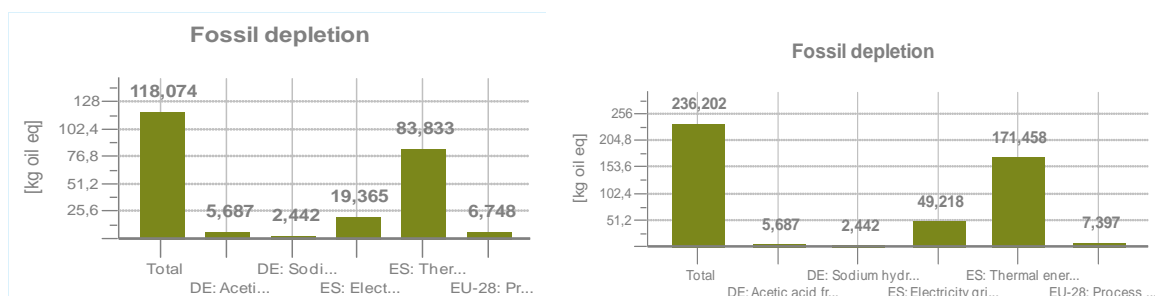


Figura 15. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de recursos fòssils

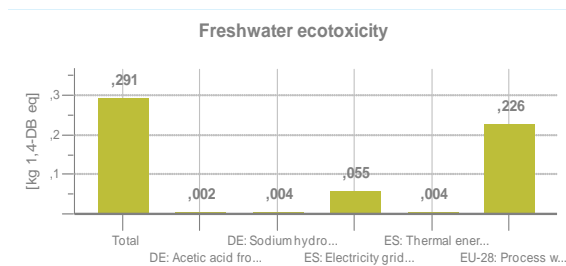
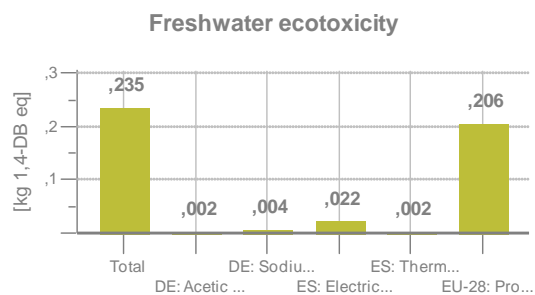


Figura 16. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Ecotoxicitat aigua dolça

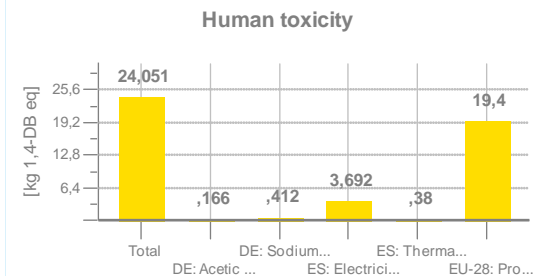
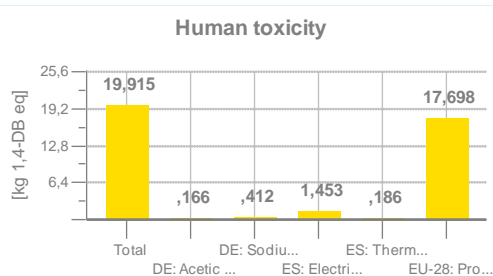


Figura 17. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Toxicitat humana

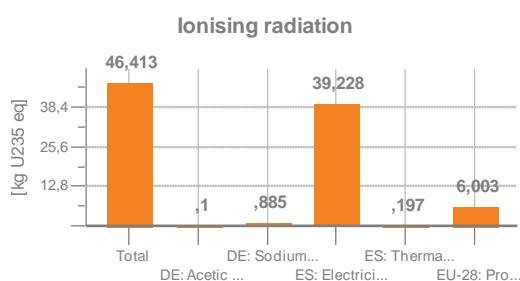
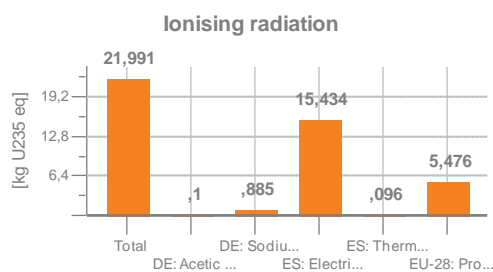


Figura 18. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Radiació ionitzant

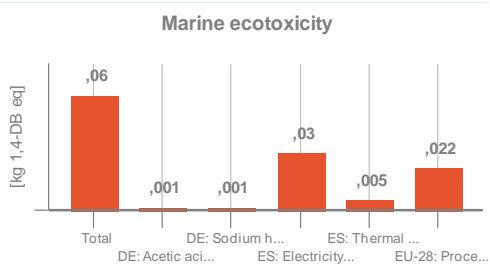
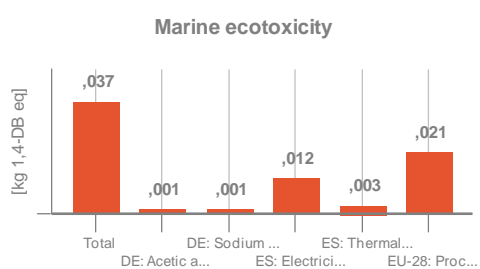


Figura 19. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eco toxicitat marina



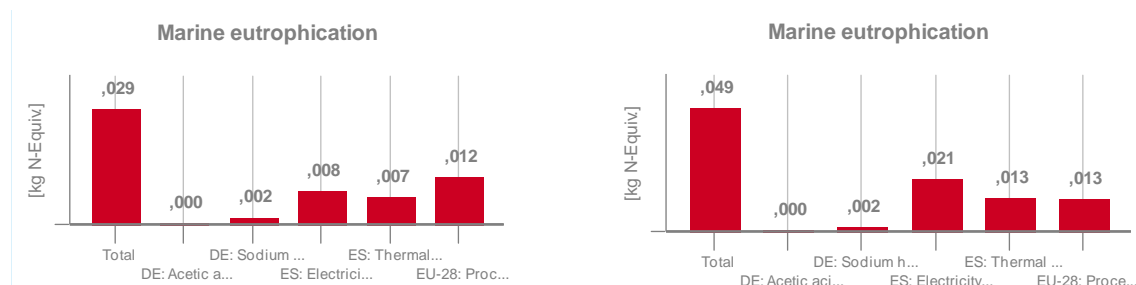


Figura 20. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eutrofització marina

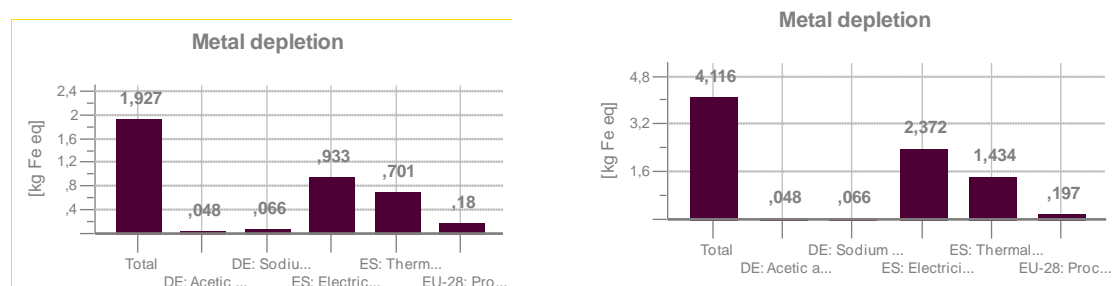


Figura 21. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de metalls

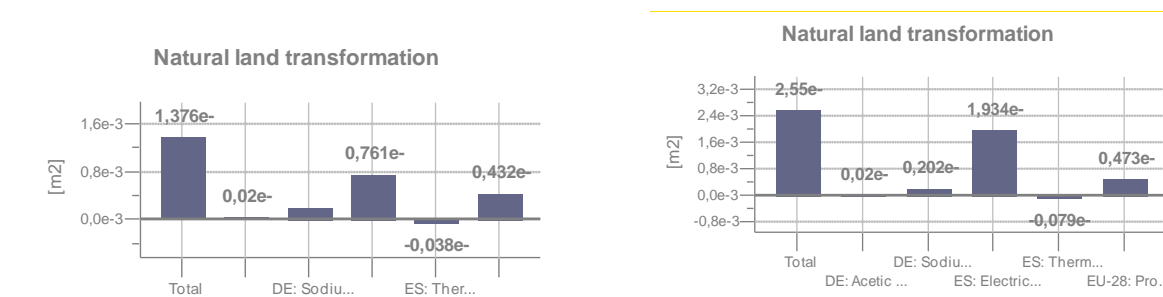


Figura 22. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Transformació del medi terrestre

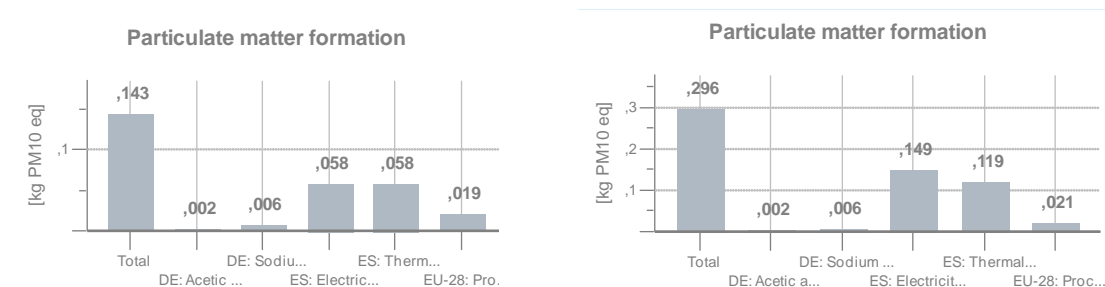


Figura 23. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Formació de partícules

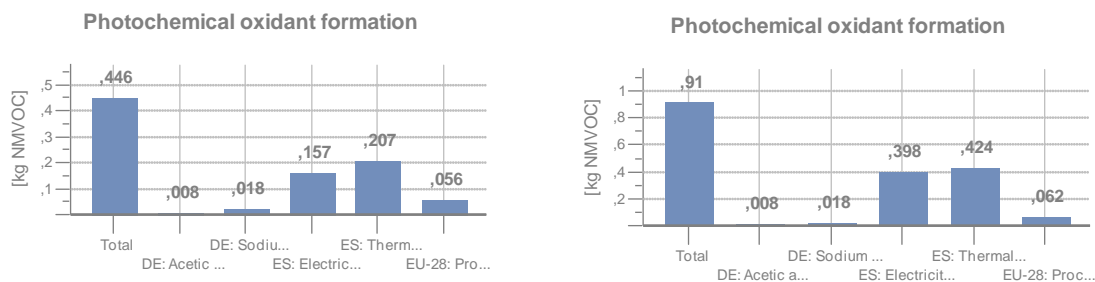


Figura 24. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Oxidació fotoquímica

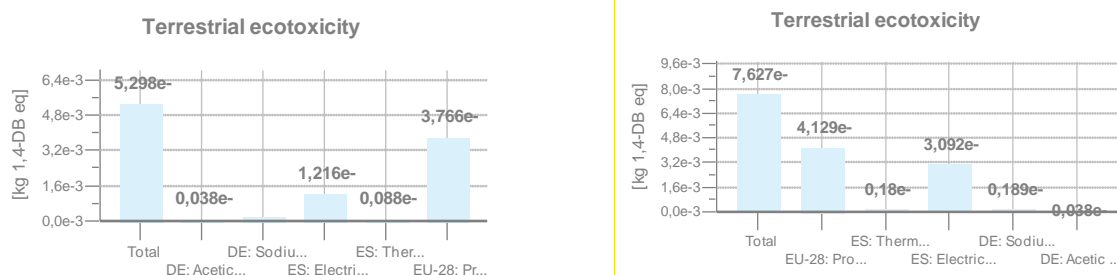


Figura 25. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Eco toxicitat terrestre

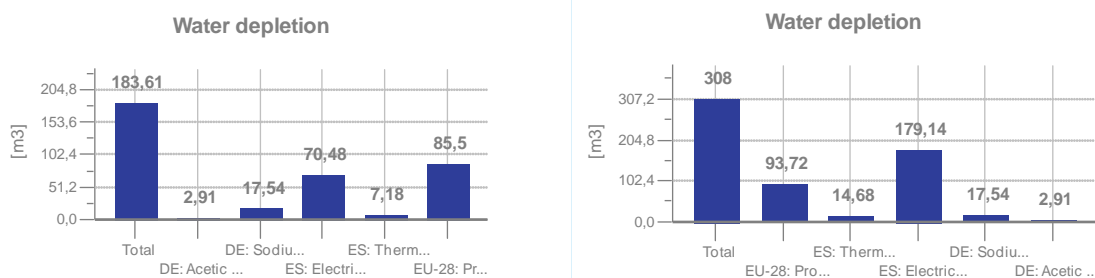


Figura 26. Impacte amb reaprofitament vs. sense – Esgotament de l'aigua

## 4.4. Interpretació dels resultats

La comparativa que es realitza a continuació es fa segons les categories d'impacte vistes a l'apartat anterior. A l'Annex G es poden trobar tabulats tots els valors que es mostren a les taules, on es mostra la contribució de cada procés a cada categoria d'impacte ambiental. Aquest valors es troben tant en kg equivalents corresponents a la classe com en tant per cent relatiu al sistema principal (AR).

Com es pot comprovar a totes les gràfiques, siguin del sistema AR o SR, el valor de la contribució dels productes químics que s'usen per al sistema de neteja CIP és el mateix, ja que es fa servir la mateixa quantitat i, en general, el seu impacte no supera el 10% de l'impacte global de l'etapa d'ús del procés. Malgrat això, en la gran majoria de categories

d'impacte, la contribució de l'hidròxid de sodi és força superior a la de l'àcid acètic. Això pot ser degut, no només a la seva extracció o fabricació, sinó a que el NaOH és corrosiu (com l'àcid acètic) però davant una llarga exposició pot ser molt perjudicial per a la salut, com es podria comprovar a la *Taula 15*. I on té més repercussió, en front els altres processos és a la transformació del medi terrestre.

Cal mencionar que els resultats referents a l'eutrofització i eco-toxicitat d'aigua, tant fresca com marina, podrien no correspondre gaire amb la realitat degut a les limitacions del sistema estudiat. Al no considerar-se ni el conreu de la matèria primera ni el reaprofitament dels residus sòlids en farratge o compostatge de matèria orgànica, no es pot valorar l'abast en termes absoluts en aquestes categories d'impacte.

En quant a les altres categories, l'impacte que genera el fet de no contemplar la recuperació d'energia i aigua dins el procés global de fabricació de cervesa és del doble en la gran majoria dels casos.

El procés d'abastiment d'aigua on té més impacte és en la toxicitat humana, l'eco-toxicitat terrestres i, òbviament, en l'esgotament d'aigua. En aquest últim cas, es pot veure que el consum d'aigua en el SR en metres cúbics és pràcticament del doble. Tenint en compte que aquest valor és només per un lot, però que a la pràctica se'n fan 10 com aquests a la setmana, el volum d'aigua consumit s'aprofitaria amb el temps amb l'AR és molt elevat.

Pel que fa a la contribució de la xarxa elèctrica, on té més impacte és en l'acidificació terrestre, la radiació ionitzant, l'esgotament de metalls, la transformació del medi, la formació de partícules i l'oxidació fotoquímica.

Per últim, el subministrament d'energia tèrmica contribuirà en major part al canvi climàtic, l'esgotament de la capa d'ozó i els recursos fòssils. I en menor o igual mesura que l'energia elèctrica, tindrà un impacte en l'acidificació terrestre, la transformació del medi, la formació de partícules i l'oxidació fotoquímica.



## 5. Estudi de sensibilitat

En aquest últim punt, es volen realitzar un Anàlisi de Sensibilitat Ambiental, que és l'avaluació de la susceptibilitat de l'ambient a ser afectat en el seu funcionament i/o condicions intrínseques per la localització i desenvolupament de qualsevol projecte i les seves àrees d'influència<sup>[4]</sup>, per a tres escenaris diferents que es podrien donar en el procés de fabricació de cervesa. Destacar que es seguirà treballant amb la mateixa unitat funcional de 4500l.

### 5.1. Escenari 1: Matèries primes i transport

#### Objectiu i abast

Aquest es basa en comprovar si hi ha diferència en l'impacte ambiental que genera haver d'aconseguir matèries primes de proximitat, o no. Aquest anàlisi es basa en un projecte que plantejava un circuit de realimentació per aprofitar l'energia tèrmica, per tant, és interessant veure si a nivell d'impacte és rellevant realitzar aquest disseny si per contra les matèries com el malt o el llúpul s'estan important d'altres països.

#### Anàlisi de l'inventari

Per fer-ho, s'ha partit del proveïdor de malt de la pròpia fàbrica i s'ha buscat el país proveïdor de llúpul més comú d'Europa, en ambdós casos Alemanya<sup>[5]</sup> i <sup>[6]</sup>. I per a representar l'abastament de matèria prima de proximitat, s'ha trobat Castella i Lleó per al llúpul i malt<sup>[7]</sup>. A partir d'aquestes dades es modelitzen quatre possibilitats:

	Procedència	km	T1	T2	T3	T4
Malt	Castella i Lleó	730	x	x		
	Bamberg	1499			x	x
Llúpul	Castella i Lleó	730	x		x	
	Hallertau	1450		x		x

Taula 5. Combinacions de l'escenari 1

Amb aquestes dades, es procedirà a afegir al model principal (sistema amb reaprofitament) dos elements que representin el transport del malt i el llúpul als qual se li entrarà el quilometratge corresponent a la procedència d'aquests, el programa conté dades de les emissions que pot generar un cert tipus de camió o tràiler durant un determinat trajecte. Només caldrà unir aquests als punts d'entrada de malt i llúpul i afegir la font de gasoil per als camions i comparar aquest impacte amb el de la pròpia fàbrica.

## Anàlisi de l'impacte

A continuació es mostren els gràfics corresponents a l'impacte ambiental que generarien cadascun dels escenaris plantejats en contra del sistema principal. La primera columna fa referència al procés global que inclou la instal·lació del sistema de recuperació d'energia i aigua i les altres quatre a les diferents combinacions de transport segons la procedència de les matèries primes:

- LC Amb Reaprofitament: ACV del sistema de referència
- LC T1, T2, T3 i T4: ACV de les combinacions de transport descrites a la *Taula 5*

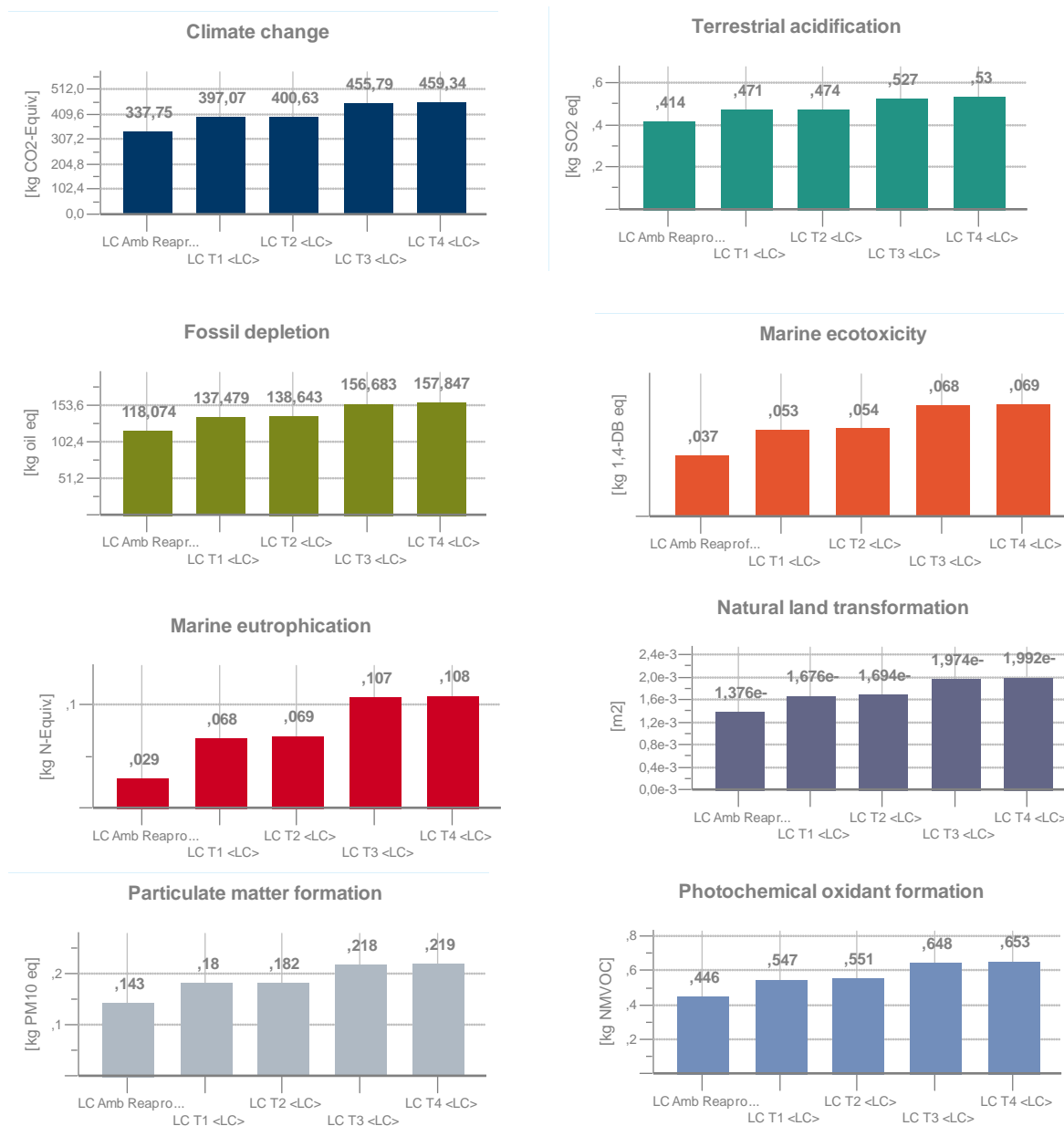


Figura 27. Recull de gràfics dels impactes segons la procedència del malt i el llúpul

En l'anàlisi d'aquest escenari, no es mostren les categories d'impacte referents a l'esgotament de recursos fòssils, de l'aigua i la capa d'ozó i de la radiació ionitzant, ja que no presentaven cap diferència rellevant entre el AR i les quatre combinacions de transport. El mateix per a la toxicitat humana que si que presentava diferència pera a T1 i T2 contra T3 i T4, però l'augment era mínim.

També, i tal i com s'ha comentat a l'apartat 5.4, els resultats referents a l'eutrofització i ecotoxicitat d'aigua dolça, podrien no correspondre gaire amb la realitat degut a les limitacions del sistema estudiat, també s'eliminen de l'estudi.

### Interpretació de resultats

Primerament, s'observa que, com era d'esperar, com més quilòmetres es recorren per a dur el llúpul i el malt a la fàbrica de producció, més impacte ambiental es generarà degut al consum de combustible.

Ara bé, el que és interessant comprovar quina diferència hi ha entre afegir el transport a tota l'equació i no instal·lar el sistema de reaprofitament. Per a fer-ho es compararan els resultats obtinguts de l'ACV de l'apartat 5 amb l'impacte de les diferents combinacions de transports. A continuació es mostra una taula on es mostren les dades en termes relatius al sistema amb reaprofitament.

imp.	CANVI CLIMÀTIC		ACIDIFICACIÓ TERRESTRE		ESGOT. RECURSOS FÒSSILS		ECOTOXICITAT MARINA	
sist.	kg CO2 eq.	%	kg SO2 eq.	%	kg oil eq.	%	kg 1,4DB eq	%
AR	337,750	-	0,414	-	118,074	-	0,037	-
SR	680,610	101,5	0,861	<b>108,0</b>	236,202	<b>100,0</b>	0,060	<b>62,2</b>
T1	397,070	17,6	0,471	<b>13,8</b>	137,479	<b>16,4</b>	0,053	<b>43,2</b>
T2	400,630	18,6	0,474	<b>14,5</b>	138,643	<b>17,4</b>	0,054	<b>45,9</b>
T3	455,790	34,9	0,527	<b>27,3</b>	156,683	<b>32,7</b>	0,068	<b>83,8</b>
T4	459,340	36,0	0,530	<b>28,0</b>	157,847	<b>33,7</b>	0,069	<b>86,5</b>
imp.	EUTROFITZACIÓ MARINA		TRANS. DEL MEDI TERRESTRE		FORMACIÓ DE PARTÍCULES		OXIDACIÓ FOTOQUÍMICA	
sist.	kg N eq	%	m2	%	kg PM10 eq	%	kg NMVOC	%
AR	0,029	-	0,001	-	0,143	-	0,446	-
SR	0,049	<b>69,0</b>	0,003	<b>85,5</b>	0,296	<b>107,0</b>	0,910	<b>104,0</b>
T1	0,068	<b>134,5</b>	0,002	<b>21,5</b>	0,180	<b>25,9</b>	0,547	<b>22,6</b>
T2	0,069	<b>137,9</b>	0,002	<b>23,2</b>	0,182	<b>27,3</b>	0,551	<b>23,5</b>
T3	0,107	<b>269,0</b>	0,002	<b>43,3</b>	0,218	<b>52,4</b>	0,648	<b>45,3</b>
T4	0,108	<b>272,4</b>	0,002	<b>44,9</b>	0,219	<b>53,1</b>	0,653	<b>46,4</b>

Taula 6. Valor relatiu dels efectes de l'escenari 1 respecte l'AR

Primerament, es comprova com les parelles T1-T2 i T3-T4 tenen, com a resultat de l'ACV, valors molt similars a cada categoria d'impacte. Això es degut a que el que varia en aquests casos és la procedència del llúpul; al ser un valor tan petit en comparació amb el malt (18kg en front 1300kg) el seu impacte en la fabricació d'un lot és insignificant. Per tant, si el que interessa és disminuir aquests efectes ambientals, caldrà treballar sobre el malt.

I ara, si s'observa l'impacte del transport amb el de l'etapa d'ús de la fàbrica es troba que, efectivament, el fet d'afegir transport augmenta l'impactes en aquestes categories ambientals en entre un 20% i 40% aproximadament, però que no té tant efecte com treballar amb el sistema sense reaprofitament, que en molts casos és del 100%.

En quant a l'eco-toxicitat i eutrofització marina, en aquest cas s'ha volgut observar aquests valors ja que divergeixen força dels resultats de l'ACV de referència, ja que malgrat podria no ser una bona comparació pel fet que els de l'AR potser no són valors realistes, és interessant deixar-ho de cara a estudis futurs on es podria valorar aquest aspecte.

## 5.2. Escenari 2: Envasat

### Objectiu i abast

S'ha decidit estudiar l'etapa d'envasat del procés ja que malgrat el seu consum no és gaire més elevat que el dels altres, ni es té en compte el material del que està manufacturat l'equip o les seves emissions, es vol observar quin impacte té respecte l'extracció de les matèries primes per manufacturar els envasos (vidre i acer inoxidable).

### Anàlisi de l'inventari

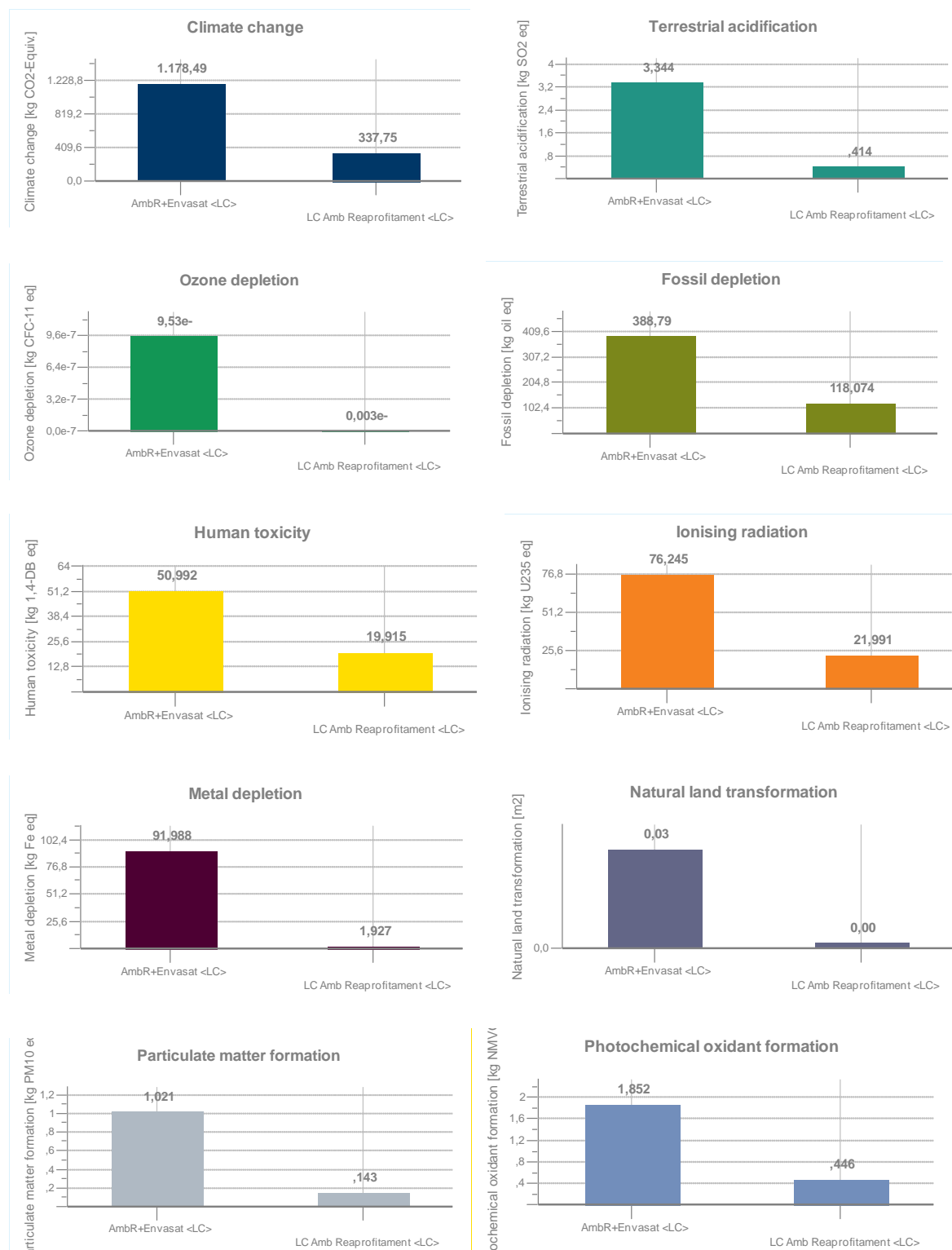
Per a modelitzar aquest sistema cal saber el pes d'una ampolla de vidre de 33cl buida, 0.210kg<sup>[8]</sup>, i el d'un barril d'acer inoxidable de 30l buit, 9.5kg<sup>[9]</sup>. A l'hora d'entrar aquestes dades al programa, es crea un procés anomenat "Envasat" on entrarien el 4500l de cervesa del final del procés global, 9000 ampolles de vidre i 45 barrils d'acer que es proposen al projecte. Malgrat en aquest procés entrarien el número d'ampolles i barrils anomenats a l'anterior paràgraf, s'assumirà que els barrils s'aprofiten unes 80-100 vegades i les ampolles de vidres entre 40-60 vegades<sup>[10]</sup>. A més a més, cal destacar que tant el flux de les ampolles com el dels barrils serien les sortides d'uns altres subprocessos de manufactura d'envasat en els qual s'inclouria l'extracció de les matèries primes que calen per fabricar-los.

Finalment, es considerarà que entren 4,75 kg en barrils d'acer, assumint que s'usen 90 vegades, i 945kg en ampolles de vidre, assumint que es reutilitzen 50 vegades.



## Anàlisi de l'impacte

A continuació es mostren els resultats del balanç de l'escenari 2.



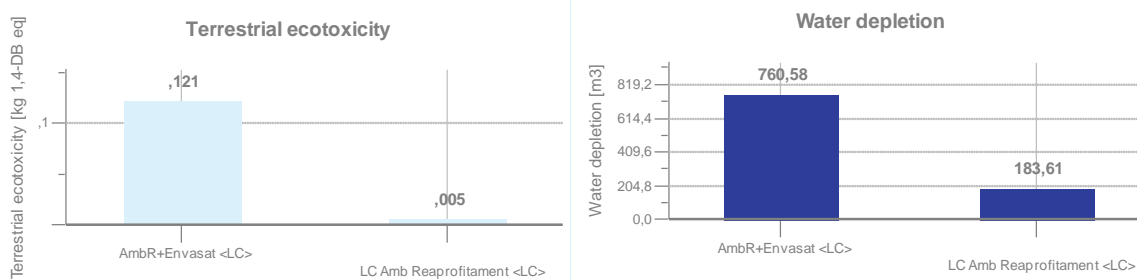


Figura 28. Recull de gràfics dels impactes segons si s'inclou o no l'envasat de la cervesa

Pel mateix motiu que s'ha esmentat en l'apartat 5.4, no es tindran en compte les dades relacionades amb l'eutrofització i ecotoxicitat de l'aigua dolça i marina.

### Interpretació de resultats

Com es pot observar, el fet d'afegir el procés envasat a l'AR genera un gran impacte respecte el sistema de referència, molt més del que s'havia vist en l'ACV comparatiu del procés de fabricació global. En els casos menys bruscos, es parla d'un augment relatiu del 150% i 250%, però en segons quines categories d'impacte l'augment de l'efecte és de més de 10 vegades el de l'AR.

Probablement això és degut al tipus de modelització que s'ha fet del sistema amb el software GaBi. Per al sistema principal, no s'han tingut en compte material dels equips, manufactura d'aquests, manteniment, extracció de matèries primes, etc.. Però en modelar el sistema d'envasat, s'ha trobat tant el vidre com l'acer inoxidable, el procés de manufactura d'envasos o de "contenidors/barris" de tots dos materials a la base de dades. Això implica que només en fer el balanç de l'etapa d'envasat, es partirà d'una quantitat de dades (transports, extraccions, emissions, radiacions, fluxos de massa, processos que hi intervenen, entre d'altres) que comparades amb les limitacions que presenta el sistema en quant a aquest tipus de dades, fa molt difícil valorar l'efecte d'aquests dos escenaris plantejats. A la Figura 29 i Figura 30 es mostra l'efecte que tenen el vidre i l'acer sobre el procés de fabricació de cervesa AR més l'envasat.

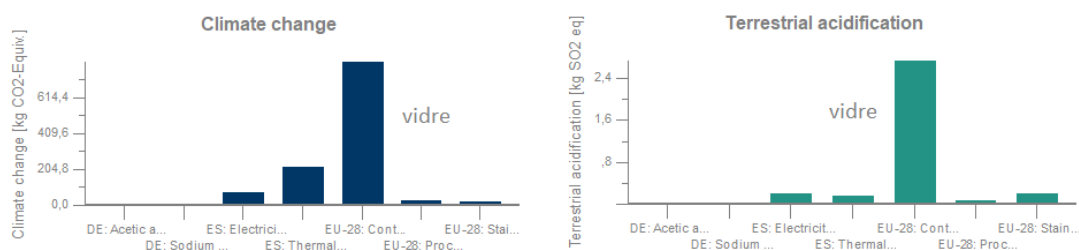


Figura 29. Exemple d'impacte de l'ús del vidre (de la llibreria de GaBi) pel model d'AR més envasat

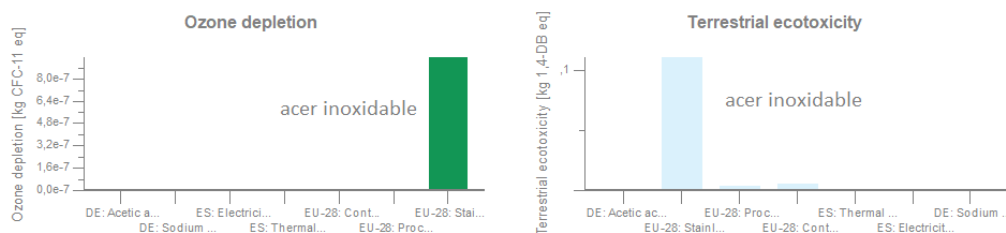


Figura 30. Exemple d'impacte de l'ús d'acer inoxidable (de la llibreria de GaBi) pel model

### 5.3. Escenari 3: Subministrament elèctric

Per últim, es vol observar l'impacte que es genera segons el tipus de subministrament de xarxa elèctrica que es podria usar per al procés de fabricació de cervesa. Les tres fonts d'alimentació que es proposen són la xarxa elèctrica convencional (*grid mix*<sup>2</sup>), xarxa elèctrica alimentada només per energia fotovoltaica i una altra de només eòlica. A partir d'aquí, s'estudiaran sis escenaris fruit de la combinació de d'aquestes tres.

#### Anàlisi de l'inventari

Es plantejaran els tres primers casos en que es faci servir cadascuna d'elles al 100%, els tres següents seran una combinació entre elles al 0% o 50%.

	M	W	P	MW	MP	PW
<b>Xarxa</b>	100%	-	-	50%	50%	-
<b>Eòlica</b>	-	100%	-	50%	-	50%
<b>Solar</b>	-	-	100%	-	50%	50%

Taula 7. Combinacions de l'escenari 3

Aquests acrònims representen el següent:

- **M:** *mix*, fa referència a l'ús de únicament energia elèctrica de la xarxa convencional
- **W:** *wind*, fa referència a l'ús de únicament energia eòlica
- **P:** *photovoltaic*, fa referència a l'ús de únicament energia solar
- **MW:** combinació de subministrament de la xarxa elèctrica i amb energia eòlica
- **MP:** combinació de subministrament de la xarxa elèctrica i amb energia solar
- **PW:** combinació de subministrament a partir energia eòlica i solar

<sup>2</sup> La matriu energètica o mix energètic és la combinació de fonts d'energia primària que s'utilitza a una zona geogràfica. Aquesta, no només inclou fonts fetes servir sinó el percentatge de cadascuna d'elles. Actualment es solen considerar els blocs d'energia tèrmica, nuclear i renovables<sup>[11]</sup>.

Aquestes combinacions s'aplicaran al sistema a partir del qual se n'han treballat tots els altres, és a dir, el sistema amb reaprofitament d'aigua. En aquest, el total d'energia elèctrica que s'usa és 215kWh. A l'hora de modelitzar-ho amb el software, es crearà "panell de control – xarxa elèctrica" alimentat amb els tres tipus d'energia des del qual es podrà decidir la quantitat (en kWh) que se'n vol fer servir de cadascuna. Aquesta anirà connectada a tots els equips del sistema.

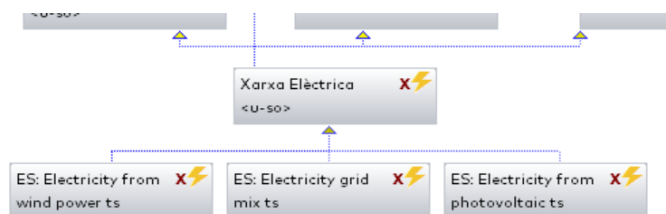
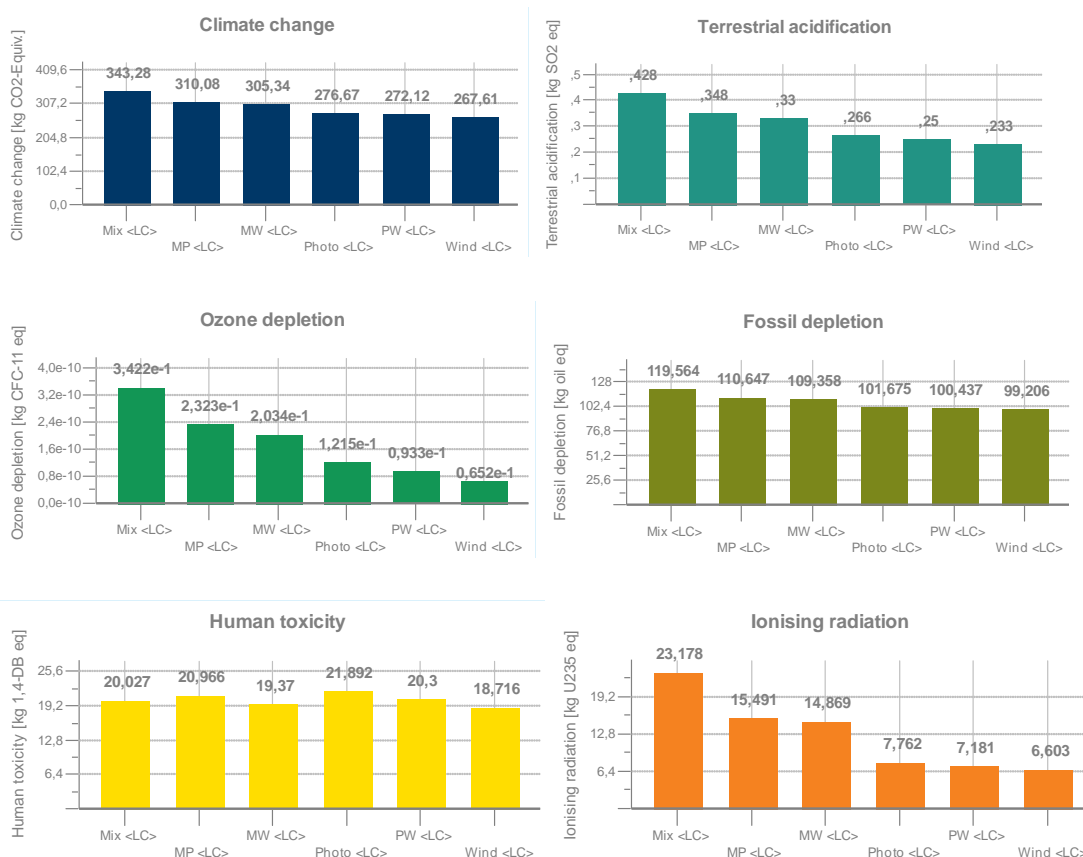


Figura 31. Retall del model creat per a l'estudi del cas 4

## Anàlisi de l'impacte

A continuació es mostren els balanços obtinguts per a l'escenari 3. Es torna a prescindir de les categories d'impacte d'eco-toxicitat i d'eutrofització tant d'aigua dolça com d'aigua marina.



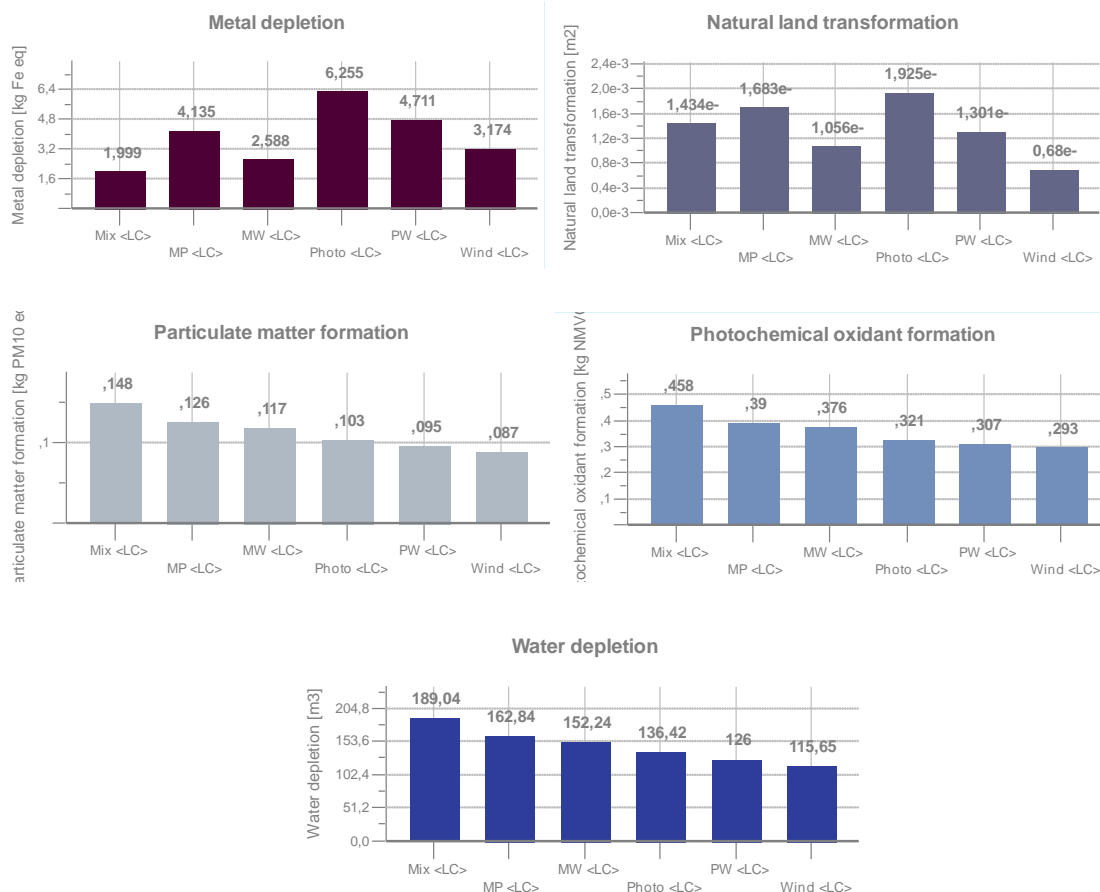


Figura 32. Recull de gràfics dels impactes segons si s'inclou o no l'envasat de la cervesa

## Interpretació de resultats

Per a l'avaluació d'aquests resultats, és útil fixar-se les categories d'impacte on incidia més l'efecte del subministrament d'energia elèctrica al procés. D'aquesta manera, es comprova que els casos on destacava l'efecte de l'energia tèrmica com al canvi climàtic i a l'esgotament de recursos fòssils; el canvi de subministrament d'energia elèctrica no suposarà una gran variació en termes d'impacte ambiental. Per això mateix, en la toxicitat humana tampoc s'observa gaire variació de valors, ja que el que tenia efecte era el processat d'aigua per a la producció. En quant a la formació de partícules i l'oxidació fotoquímica, malgrat si que varien els valors mínimament, no es tindran en compte a l'hora de tabular-los ja que no és una de les categories d'impacte més rellevant en referència al subministrament/consum d'energia elèctrica.

I en relació a les altres categories, s'ha calculat l'impacte relatiu al procés de fabricació amb reaprofitament per a cada combinació de subministrament per a comparar entre elles quina té un menor impacte ambiental. A més a més, igual que als anteriors apartats 6.1 i 6.2, s'avaluarà aquest efecte sobre el fet de instal·lar o no el sistema de recuperació d'energia i

imp.	ACIDIFICACIÓ TERRESTRE		ESGOTAMENT CAPA D'OZÓ		RADIACIÓ IONITZANT		ESGOTAMENT DE METALLS		TRANS. DEL MEDI TERRESTRE		ESGOTAMENT D'AIGUA	
sist.	kg SO2 eq.	%	kg CFC eq	%	kg U235 eq.	%	kg Fe eq	%	m2	%	m3	%
M -AR	0,414	-	0,342	-	23,178	-	1,999	-	0,001	-	189,040	-
SR	0,861	108,0	0,728	112,6	46,413	100,2	4,116	105,9	0,003	85,5	308,000	62,9
P	0,266	-35,7	0,122	-64,5	7,762	-66,5	6,255	212,9	0,002	40,0	136,420	-27,8
W	0,233	-43,7	0,065	-80,9	6,603	-71,5	3,174	58,8	0,001	-50,5	115,650	-38,8
MP	0,348	-15,9	0,232	-32,1	15,491	-33,2	4,135	106,9	0,002	22,4	162,840	-13,9
MW	0,330	-20,3	0,203	-40,6	14,869	-35,8	2,588	29,5	0,001	-23,2	152,240	-19,5
PW	0,250	-39,6	0,093	-72,7	7,181	-69,0	4,711	135,7	0,001	-5,4	126,000	-33,3

*Taula 8. Valor relatiu dels efectes de l'escenari 3 respecte l'AR*

A partir de la *Taula 8*, es troba que la solució de subministrament d'energia elèctrica més òptima nivell ambiental seria usar la eòlica, seguida de la solar. I en funció d'això, les combinacions que es facin entre elles també seran millors en termes mediambientals si una d'elles o totes dues són energia renovable.

Per altra banda, si s'observa quin impacte relatiu genera el sistema sense reaprofitament en relació al que es guanyaria (ambientalment parlant) en fer una instal·lació de proveïment d'energies elèctrica més sostenible, es pot comprovar que no seria suficient per suplir un efecte amb l'altre.

## Conclusions

Una vegada s'han realitzat tots els estudis que es proposaven a l'inici del projecte, l'Anàlisi del Cicle de Vida de l'etapa d'ús d'una planta de fabricació de cervesa artesanal i l'estudi de tres escenaris relacionats amb aquesta, es pot fer un balanç global amb tota la informació extreta en cada etapa d'aquest.

Per començar, s'ha vist clarament que, a nivell de mediambiental i en relació a l'etapa d'ús d'un sistema com aquest, és positiu instal·lar un sistema de recuperació d'energia i aigua. L'impacte associat al consum d'energia tèrmica es redueix a més de la meitat en la gran majoria de les categories d'impacte, ja que la quantitat d'aigua a escalfar al tanc en l'AR és deu vegades menor que a l'SR. Això aniria relacionat al consum d'aigua, que també baixa en picat. I en quant a l'energia elèctrica la diferència entre sistemes també representa tant un estalvi d'energia com un efecte menor al medi ambient.

Pel que fa als tres escenaris que s'han treballat, s'han trobat resultats que han dut a algunes conclusions força diverses entre elles.

En primer lloc, es volia observar quin era l'impacte en fer ús de matèries primeres de proximitat o, bé, importar-les d'Alemanya. La idea era comprovar com de més o menys contaminant resultava cada cas. I s'ha arribat a la conclusió que en quant al llúpul és irrellevant d'on s'obtingui ja que per a un sol lot, l'impacte és mínim i encara que es produeixi cervesa contínuament hi haurà molts altres aspectes on atacar si es vol disminuir la contaminació. Tot i que en el cas del malt sí que s'observa més diferència encara que l'efecte no sigui tan elevat com el que genera fabricar la planta amb el sistema SR, si s'hagués de valorar la procedència de la matèria primera es triaria el malt de Castella i Lleó.

El següent escenari treballava sobre el procés d'envasat. En aquests cas, l'impacte ha resultat ser de més del doble i triple del que generaria l'AR. Com ja s'ha comentat, en aquest cas ha pogut ser com a conseqüència del diferència de volum de dades del que es disposava en un cas i en l'altre i de que potser no expressaven la realitat del procés. Per tant, de cara a un futur, si es vol saber l'impacte real de l'envasat caldria una base de dades més àmplia (més processos i fluxos predefinits).

Malgrat això, com també s'ha vist que gran part d'aquesta diferència prové de l'impacte que genera introduir barrils d'acer, es podria pensar en canviar aquests per barrils de plàstics com el PET <sup>[12]</sup>. Aquesta és una solució que cada vegada es posa més en pràctica ja que, a més a més de ser més econòmics, són menys pesats. Però encara que existeixi aquesta opció en concret, caldrà mirar-s'ho més a fons i buscar més solucions sostenibles per al procés envasat; ja que tot i els desajustos en el model, és evident que com a consumibles

en l'etapa d'ús, els envasos utilitzats sí que tenen una contribució molt important en els impactes ambientals. Pot ser intel·ligent considerar aquest problema dels envasos de forma prioritària per a la millora de l'impacte ambiental del procés.

I per últim, s'ha fet un anàlisi de sensibilitat on s'ha trobat que, com era de preveure, el fet de utilitzar energies renovables com a font de subministrament redueix els efectes ambientals però no tant com per compensar els impactes que es generarien en construir la fàbrica i no instal·lar-hi el sistema de recuperació d'energia i aigua.

Com a visió general, ha quedat clar que si es disposa de prou pressupost per a instal·lar el sistema proposat de reaprofitament cal apostar per ell, ja que a la llarga s'haurà estalviat molt tant en consum d'aigua com d'energia. A més a més, l'impacte ambiental fruit de l'etapa d'ús també serà menor i, si s'amplia l'estudi i es realitzen els càlculs adients, segurament s'observarà que els sistemes de reaprofitament també contribueixen a un estalvi econòmic.

Malgrat això, tot el que s'ha vist fins ara serveix com a guia i base per a projectes i estudis futurs, però no com a referència per a una presa de decisions finals.

Per tant, de cara a propers passos o tasques caldrà:

- Treballar en una modelització més ajustada als processos i fluxos reals. Tant a partir d'una llicència més àmplia, com de recerca més detalla dels elements que formin part del sistema d'estudi.
- Tenir en compte les possibilitats o escenaris per a les sortides residuals del sistema de cara a l'impacte que poden generar (residus sòlids, líquids, residus que cal tractar, matèria de sortida que pot ser reaprofitable, etc.).
- Valorar si tots els canvis que es volen realitzar per a reduir l'impacte ambiental són econòmicament viables. Aquest és un punt del que no se n'ha fet èmfasi, però de cara a la realització de projectes, és molt important ja que una de les grans limitacions sempre serà el pressupost.
- Estudiar escenaris per a la substitució de les fonts d'energia tèrmica per d'altres de renovables.



## Agraïments

En primer lloc, voldria agrair la dedicació i l'ajuda proporcionada pel meu tutor, Xavier Carod, durant la realització d'aquest projecte.

Agrair també el gran suport de tota la meva família durant aquests últims mesos.

I per últim, als meus amics i companys de dins i fora de l'escola pel dia a dia, el suport i la companyia de tots aquests anys.



## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

JORDI ROCA, *Disseny d'una planta de fabricació de cervesa artesanal*, Barcelona: ETSEIB 2016-04.

### Bibliografia complementària

- [1] <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf> [08/04/2019]
- [2] <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/34437/TFG-I-1049.pdf;jsessionid=8600CB9F701D1CBFF28E06B5A2130502?sequence=1> [08/04/2019]
- [3] <http://cervesaencatala.blogspot.com/2014/11/elaboracio-la-fermentacio-de-les.html> [08/04/2019]
- [4] <http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal58.pdf> [08/04/2019]
- [5] <https://www.weyer mann.de/esp/wueu.asp?qo=wueu&umenue=yes&idmenue=98&sprache=5> [08/04/2019]
- [6] <https://www.dw.com/es/l%C3%BApulo-el-oro-verde-de-baviera/a-2712772> [08/04/2019]
- [7] [https://www.abc.es/espana/madrid/abci-madrid-cultivara-lupulo-ecologico-para-nutrir-cerveceras-201901070151\\_noticia.html](https://www.abc.es/espana/madrid/abci-madrid-cultivara-lupulo-ecologico-para-nutrir-cerveceras-201901070151_noticia.html) [08/04/2019]
- [8] <https://www.juvasa.com/es/61/botellas-para-cerveza/1359/cerveza-330-ml-eco-corona-26> [08/04/2019]
- [9] <https://thielmann.com/es/productos/barriles/euronorm> [08/04/2019]
- [10] [http://residus.gencat.cat/es/ambits\\_dactuacio/recollida\\_selectiva/residus\\_municipals/vindre/la\\_reutilitzacio\\_del\\_vidre/](http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/vindre/la_reutilitzacio_del_vidre/) [08/04/2019]
- [11] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Combinaci%C3%B3\\_de\\_fonts\\_d%E2%80%99energia](https://ca.wikipedia.org/wiki/Combinaci%C3%B3_de_fonts_d%E2%80%99energia) [08/04/2019]

- [12] <https://installbeer.com/blogs/diariocervezero/14306929-barriles-sistemas-y-propiedades> [08/04/2019]

### **Anàlisi del Cicle de Vida, ReCiPe i software GaBi**

- <http://www.blonkconsultants.nl/what-is-life-cycle-assessment/?lang=en> [08/04/2019]
- <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html> [30/04/2019]
- <https://www.pre-sustainability.com/sustainability-consulting/lca-methodology-basics> [02/05/2019]
- <http://www.gabi-software.com/uk-ireland/solutions/life-cycle-assessment/> [03/05/2019]
- [https://www.researchgate.net/publication/302559709\\_ReCiPE\\_2008\\_A\\_life\\_cycle\\_impact\\_assessment\\_method\\_which\\_comprises\\_harmonised\\_category\\_indicators\\_at\\_the\\_midpoint\\_and\\_the\\_endpoint\\_level](https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCiPE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level) [21/05/2019]
- <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf> [23/05/2019]
- [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf) [14/06/2019]
- <http://www.life-ecoraee.eu/es/files/B1InformeResultadosACVProcesoCompleto.pdf> [14/06/2019]

### **Fabricació de cervesa**

- <https://cervezomicon.com/2015/06/06/historia-y-evolucion-de-los-sistemas-de-maceracion/> [04/05/2019]
- <https://fundacionescym.es/blog/136-tecnologia-en-la-elaboracion-de-la-cerveza> [06/05/2019]
- <http://cervecerochapin.blogspot.com/2016/04/sistema-rimsherms.html> [06/05/2019]
- <https://www.verema.com/blog/el-blog-del-cervezero/1005265-proceso-maceracion-cerveza> [21/05/2019]
- <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/lupulo/> [01/06/2019]